



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE CIVIL**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE  
LABORATORIO DE MÓDULO RESILIENTE Y CBR DE  
LABORATORIO PARA BASE Y SUBBASE DE LA MINA COPETO  
(TOACHI – SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS)**

**PARRA PADILLA FELIPE ANDRÉS**

**DIRECTOR: ING. GUSTAVO YÁNEZ**

**QUITO, OCTUBRE 2018**

## **AGRADECIMIENTOS GENERALES**

En primer lugar, quiero agradecer a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por su magnífica labor en formar profesionales de alto nivel con profesores que están a la altura de lo que esperé como estudiante.

Al mejor colegio del mundo el “Patrón Mejía”, que me formó con los valores de humildad, perseverancia, respeto, conciencia social y amor por el prójimo.

A todos mis profesores, que han compartido conmigo sus conocimientos con el fin de prepararme para la vida profesional, inculcándome valores que debe tener un Ingeniero Civil de la PUCE.

A mi Director de Tesis, Ing. Gustavo Yáñez, por ser un gran profesor y guiarme para que este plan de investigación culmine con el objetivo esperado.

Al Ing. Wilson Cando, por ser una gran persona, un gran maestro que con su experiencia compartida en las aulas, estoy confiado que seré un mejor profesional, pero sobre todo gracias por su amistad que ha sido muy importante en el transcurso de la elaboración de mi tesis cuando llegaron problemas ajenos a nosotros. Gracias por ayudarme a alcanzar este objetivo tan anhelado.

Al Ing. Mauricio Cely, por su ayuda y confianza brindada para que este trabajo de investigación este desarrollado de la mejor manera.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la bendición de tener una familia y amigos maravillosos; a mis padres y hermanos, que han sido un pilar fundamental en el transcurso de mi vida y que nunca me han dejado caer. Sé que con ustedes todo lo puedo.

A mis abuelitos: Mercedes, Dolores, Arnoldo, Flavio y Angelito, por darme la gran familia unida y ser los mejores maestros de la vida.

A mi familia materna y paterna, a mis tíos y tías, que siempre han estado en momentos difíciles brindando su apoyo y su amor fraternal.

A mi tío Vinicio, Juan y a su familia por brindarme su apoyo y siempre recibirme con los brazos abiertos en su hogar.

A mis primas Erika, Jenny y Mayrita, por ser como unas hermanas para mí y estar siempre pendientes de mis padres y de mis hermanos, a sus esposos Víctor, Carlos y Robert, gracias por su apoyo.

A todos mis primos, que con sus ocurrencias pueden cambiar un día malo por el mejor de todos, pero en especial a Diego (Choclito) y Esteban por ser como mis hermanos y estar siempre conmigo, más en los momentos difíciles. A Sol y a Dany por aguantarles a los antes mencionados y ser también parte de mi vida; gracias por su amistad y confianza.

A Dayanna, por ser incondicional, una excelente mujer y muy valiosa para mí, gracias por apoyarme día y noche en la culminación de este trabajo.

A mis grandes amigos, mis Ingenieros: Mayté, Jennyfer, Dome, Pao, Gaby, Crisito que se convirtió como un hermano para mí, Charles, Eduardo (Chicho), Alejo, Ángel, Marcelo, Fabricio e Ine, por su sincera amistad y compartir su alegría, su ayuda en los momentos difíciles que se presenta en la mejor carrera del mundo. Espero tenerles siempre a mi lado porque son muy importantes en mi vida.

Finalmente quiero agradecer al cielo, a mi tío Emilio, a mi tía Olguita por guiarme y cuidarme desde el cielo; a mi primo Paúl por enseñarme que los sueños se alcanzan con dedicación y esfuerzo que “hay que vivir con honor y morir con gloria”.

*“Per Áspera Ad Astra, por las áspera pendiente hacia la cumbre, cuando el sendero de la vida es difícil se aprende a temprar más el alma, y los Mejías tenemos el alma de acero, para elevarnos hacia las estrellas”.*

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirme estar con mi familia, a mis padres Silvana y Flavio que, con mucho sacrificio, esfuerzo hasta incluso lágrimas me han guiado por el buen camino, que con sus consejos y valores quieren que sea un hombre de bien, por motivarme día a día a ser como ustedes.

De igual manera a mis hermanos Flavio y Daniel que día a día hacen que me sienta afortunado de tenerles.

A mi primo Paúl Corella que me ha enseñado tanto, incluso cuando ya no está conmigo.

A todos las personas que me brindan su cariño solo me queda decirles a todos, muchas gracias.



## RESUMEN

El presente documento pretende encontrar una correlación entre el C.B.R. de laboratorio y el Módulo Resiliente para el agregado que proviene de la Mina de “Copeto”, localizada en Santo Domingo de los Tsáchilas y, así tener valores reales para la optimización de material que se va a utilizar en el diseño de proyectos viales.

Durante muchos años hasta la actualidad se ha venido utilizando el método AASHTO (93), para el diseño de pavimentos flexibles con las capas que lo conforman; pero en esta investigación se tiene como objetivo encontrar una correlación que mediante el C.B.R. de laboratorio podamos encontrar el Módulo Resiliente sin la necesidad de realizar este ensayo y tener valores más cercanos a la realidad.

Se inicia el estudio, con la calificación de la mina en análisis, partiendo con ensayos que permiten conocer las características propias de los agregados que deben cumplir con las normas ASTM y, así tener un material adecuado para el uso en las capas de la estructura de la vía.

Posteriormente, se realiza el ensayo de C.B.R. de laboratorio para las distintas clases de Base y Sub-base que especifica la Norma NEVI-12-MTOP (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRA PÚBLICAS) y, obtener su valor real.

Mediante el ensayo Triaxial, se obtienen los valores del Módulo Resiliente para las clases de Base y Sub-base, teniendo para cada una tres ensayos que arrojarán una mayor cantidad de datos que, permitirán calcular el resultado más real y por consiguiente una correlación más exacta.

Finalmente, se realiza un diseño vial con valores reales, para poder comparar el espesor calculado por el método AASHTO (93) con el espesor obtenido por medio de la correlación y los C.B.R. que se tiene a partir de los ensayos de laboratorio; para observar las variaciones de dimensiones de las distintas capas que se obtienen en cada método y analizar la optimización de material.

## **ABSTRACT**

The purpose of the present document is to find a correlation between the CBR of laboratory and the Resilient Module for the aggregate that comes from the Mine of "Copeto", located in Santo Domingo de los Tsáchilas. Thus, we will have real values for the optimization of material to be used in the design of road projects.

The AASHTO (93) method has been used for the design of flexible pavements with its layers for many years until now, but this research has the objective to encounter a correlation we can recognize the Resilient Module through the laboratory CBR without the need to carry out this test and get values closer to reality.

The study begins with the qualification of the analyzed mine. It starts with tests to allow one to know the characteristics of the aggregates which must comply with the ASTM norms. Thereby, to have a suitable material for the use in the layers of the route structure.

Subsequently, the CBR of laboratory trial is done for different classes of Base and Sub-base specified in the Norm NEVI-12-MTOP (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS) in order to obtain its real value.

By means of the Triaxial test, the values of the Resilient Module for the Base and Sub-base classes are obtained. It has three test for each one. They will yield a greater amount of data which will let us calculate the most actual result, therefore, a more accurate correlation.

Finally, a road design with real values is made with the aim to compare the thickness calculated by the AASHTO method (93) with the thickness obtained via correlation and the CBR from laboratory tests. The intent is to notice the variations of dimensions obtained in the different layers by each method and also, to analyze the optimization of material.

## CONTENIDO

Introducción .....	1
Antecedentes .....	3
Justificación .....	4
Planteamiento del problema .....	4
Objetivos .....	5
Objetivo General .....	5
Objetivos Específicos .....	5
CAPITULO 1. DEFINICIÓN Y ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES .....	6
1.1. Sub-base .....	6
1.1.1. Definición de Sub-base .....	6
1.1.2. Concepto de agregado grueso .....	8
1.1.3. Origen del agregado grueso .....	8
1.1.4. Procedencia del agregado grueso .....	10
1.2. Base .....	10
1.2.1. Definición de Base .....	10
1.2.2. Concepto de agregado fino .....	13
1.2.3. Origen del agregado fino .....	13
1.2.4. Procedencia del agregado fino .....	13
CAPÍTULO 2. ENSAYOS DE LABORATORIO .....	14

2.1. Muestreo de los agregados (ASTM D75).....	14
2.2. Cuarteo de los agregados (ASTM C702).....	15
2.3. Granulometría (ASTM C33) .....	15
2.3.1. Resultados.....	19
2.4. Gravedad Específica (ASTM C127 – C128) .....	33
2.4.1. Gravedad Específica y absorción del agregado fino (ASTM C128).....	34
2.4.1.1. Resultados.....	36
2.4.2. Gravedad Específica y absorción del agregado grueso (ASTM C127) ....	36
2.4.2.1. Resultados.....	38
2.5. Contenido orgánico (ASTM C40-99).....	39
2.5.1. Resultados.....	39
2.6. Determinación de terrones de arcilla y de partículas friables (desmenuzables) en los agregados (ASTM C142-97).....	40
2.6.1. Resultados.....	41
2.7. Durabilidad de los agregados a la acción de sulfatos (sulfato de sodio y de magnesio) (ASTM C88) .....	41
2.7.1. Resultados.....	45
2.8. Equivalente de arena (ASTM D2419) .....	46
2.8.1. Resultados.....	46
2.9. Desgaste a la abrasión con la Máquina de los Ángeles (ASTM C131)..	47
2.9.1. Resultados.....	49

2.10. Límites de Atterberg (ASTM D4318-84).....	49
2.10.3.1. Resultados.....	51
2.11. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	57
<b>CAPÍTULO 3. CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.).....</b>	<b>58</b>
3.1. Proctor Modificado (ASTM D1557) .....	60
3.1.1. Resultados.....	61
3.2. Ensayo C.B.R. de laboratorio (ASTM D1883).....	75
3.2.3. Corrección del C.B.R. para una densidad del 95% .....	75
3.2.3.1. Resultados.....	77
3.2.4. Resumen de resultados del C.B.R. de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	105
<b>CAPÍTULO 4. MÓDULO RESILIENTE .....</b>	<b>106</b>
4.1.    Ensayo de Módulo Resiliente .....	115
4.1.2. Resultados.....	120
4.2. Resumen de resultados del Módulo Resiliente de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	140
<b>CAPÍTULO 5. CORRELACIÓN DEL C.B.R. CON EL MÓDULO RESILIENTE.....</b>	<b>141</b>
5.1. Correlación del C.B.R. y el Módulo Resiliente para SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	141

5.2. Correlación del C.B.R. y el Módulo Resiliente para BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	143
5.3. Comparación de valores del Módulo Resiliente obtenidos por la ecuación de correlación y valores de distintos autores .....	145
5.4. Diseño de las capas Base y Sub-base con C.B.R. y Módulo Resiliente con el método AASHTO 1993 .....	146
5.5 Comparación entre espesores obtenidos por el Método AASHTO (1993) y espesores obtenidos con la correlación.....	165
5.6. Resumen de resultados del diseño por el método AASHTO y correlación....	165
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>166</b>
6.1. Conclusiones .....	166
6.2. Recomendaciones .....	168
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>170</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>176</b>
Anexo 1. Fotos de la Mina Copeto (Toachi – Santo Domingo de los Tsáchilas) .	177
Anexo 2. Fotos de la realización de los ensayos de caracterización .....	179
Anexo 3. Fotos de la realización de los ensayos del C.B.R.....	180
Anexo 4. Informes de Laboratorio de C.B.R. ....	181
Anexo 5. Fotos de la realización de los ensayos de Módulo Resiliente.....	182
Anexo 6. Informes de Laboratorio de Módulo Resiliente .....	183

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Porcentaje de material retenido en tamices para clases de sub-base.....	8
Tabla 1. 2. Porcentaje de material retenido en tamices para clases de base ..	12
Tabla 2. 1. Cantidad de muestra según el tamaño del material .....	14
Tabla 2. 2. Tamices para granulometría de agregados.....	15
Tabla 2. 3. Masa mínima para el agregado fino .....	16
Tabla 2. 4. Masa mínima para el agregado grueso .....	16
Tabla 2. 5. Clasificación de suelos SUCS .....	17
Tabla 2. 6. Clasificación de suelos ASSHTO .....	18
Tabla 2. 7. Granulometría de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	19
Tabla 2. 8. Clasificación de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	20
Tabla 2. 9. Granulometría de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	21
Tabla 2. 10. Clasificación de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	22
Tabla 2. 11. Granulometría de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	23
Tabla 2. 12. Clasificación de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	24

Tabla 2. 13. Granulometría de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	25
Tabla 2. 14. Clasificación de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	26
Tabla 2. 15. Granulometría de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	27
Tabla 2. 16. Clasificación de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	28
Tabla 2. 17. Granulometría de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	29
Tabla 2. 18. Clasificación de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	30
Tabla 2. 19. Granulometría de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	31
Tabla 2. 20. Clasificación de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	32
Tabla 2. 21. Gravedad específica y absorción del agregado fino de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	36
Tabla 2. 22. Gravedad específica y absorción del agregado grueso de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	38
Tabla 2. 23. Contenido orgánico en el agregado de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	39
Tabla 2. 24. Porcentaje de terrones de arcilla y de partículas friables en el agregado de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	41



Tabla 2. 25. Fracción de muestra para el agregado grueso.....	42
Tabla 2. 26. Fracción de muestra para el agregado fino .....	43
Tabla 2. 27. Porcentaje de desgaste del agregado fino a la acción de sulfatos de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	45
Tabla 2. 28. Porcentaje de desgaste del agregado grueso a la acción de sulfatos de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	45
Tabla 2. 29. Contenido orgánico en el agregado de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	46
Tabla 2. 30. Peso de agregado y número de esferas para agregado grueso hasta 1 ½" .....	47
Tabla 2. 31. Peso de agregado y número de esferas para agregados gruesos de tamaños mayores a ¾".....	48
Tabla 2. 32. Desgaste a la abrasión de la SUB-BASE de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	49
Tabla 2. 33. Desgaste a la abrasión de la BASE de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	49
Tabla 2. 34. Factores para la obtención del límite líquido a partir de la humedad y número de golpes que causan el cierre de las ranuras .....	50
Tabla 2. 35. Contenido de humedad de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	51
Tabla 2. 36. Límites de Atterberg de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	52
Tabla 2. 37. Contenido de humedad de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	52

Tabla 2. 38. Límites de Atterberg de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	52
Tabla 2. 39. Contenido de humedad de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	53
Tabla 2. 40. Límites de Atterberg de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	53
Tabla 2. 41. Contenido de humedad de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	53
Tabla 2. 42. Límites de Atterberg de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	54
Tabla 2. 43. Contenido de humedad de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	54
Tabla 2. 44. Límites de Atterberg de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	54
Tabla 2. 45. Contenido de humedad de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	55
Tabla 2. 46. Límites de Atterberg de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	55
Tabla 2. 47. Contenido de humedad de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	55
Tabla 2. 48. Límites de Atterberg de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	56
Tabla 2. 49. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	57

Tabla 3. 1. Valores tipo para piedra partida (C.B.R.).....	59
Tabla 3. 2. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad.....	61
Tabla 3. 3. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima - Humedad óptima .....	62
Tabla 3. 4. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad.....	63
Tabla 3. 5. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima – Humedad óptima .....	64
Tabla 3. 6. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad.....	65
Tabla 3. 7. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima – Humedad óptima .....	66
Tabla 3. 8. Proctor Modificado BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad .....	67
Tabla 3. 9. Proctor modificado BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima – Humedad óptima.....	68
Tabla 3. 10. Proctor Modificado BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad.....	69
Tabla 3. 11. Proctor Modificado BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima – Humedad óptima .....	70
Tabla 3. 12. Proctor Modificado BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad.....	71

Tabla 3. 13. Proctor Modificado BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs Humedad óptima.....	72
Tabla 3. 14. Proctor Modificado BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad.....	73
Tabla 3. 15. Proctor Modificado BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima – Humedad óptima .....	74
Tabla 3. 16. Clasificación cualitativa y uso del suelo según el valor de C.B.R.	76
Tabla 3. 17. C.B.R. SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	77
Tabla 3. 18. C.B.R. SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos de penetración (Corrección).....	79
Tabla 3. 19. Valor C.B.R. SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	80
Tabla 3. 20. C.B.R. SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	81
Tabla 3. 21. C.B.R. SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos Penetración .....	83
Tabla 3. 22. Valor C.B.R. SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	84
Tabla 3. 23. C.B.R. SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	85
Tabla 3. 24. C.B.R. SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) : Datos penetración (Corrección).....	87

Tabla 3. 25. Valor C.B.R. SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	88
Tabla 3. 26. BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	89
Tabla 3. 27. C.B.R. BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos penetración .....	91
Tabla 3. 28. Valor C.B.R. BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	92
Tabla 3. 29. C.B.R. BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	93
Tabla 3. 30. C.B.R. BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos penetración .....	95
Tabla 3. 31. Valor C.B.R. BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	96
Tabla 3. 32. C.B.R. BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	97
Tabla 3. 33. C.B.R. BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos penetración .....	99
Tabla 3. 34. Valor C.B.R. BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	100
Tabla 3. 35. C.B.R. BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	101
Tabla 3. 36. C.B.R. BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos penetración .....	103

Tabla 3. 37. Valor C.B.R. BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	104
Tabla 3. 38. Resumen de resultados del C.B.R. de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	105
Tabla 4. 1. Valores típicos de Mr para materiales granulares .....	112
Tabla 4. 2. Valores del Módulo Resiliente de BASES y SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) según la ecuación de Ullidtz...	113
Tabla 4. 3. Valores del Módulo Resiliente de BASES y SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) según la ecuación utilizada en Chile .....	114
Tabla 4. 4. Valores del Módulo Resiliente de BASES y SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) según la ecuación del programa PAS .....	114
Tabla 4. 5. Valores del Módulo Resiliente de BASES y SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) según la ecuación de TRRL ...	115
Tabla 4. 6. Esfuerzo de confinamiento para el ensayo de Módulo Resiliente.....	116
Tabla 4. 7. Pruebas de secuencias para materiales de base / sub-base .....	119
Tabla 4. 8. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	120
Tabla 4. 9. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	121
Tabla 4. 10. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	122

Tabla 4. 11. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	123
Tabla 4. 12. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	124
Tabla 4. 13. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	125
Tabla 4. 14. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	126
Tabla 4. 15. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente SUB- BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	127
Tabla 4. 16. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	128
Tabla 4. 17. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	129
Tabla 4. 18. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	130
Tabla 4. 19. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	131
Tabla 4. 20. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	132
Tabla 4. 21. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	133
Tabla 4. 22. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	134

Tabla 4. 23. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	135
Tabla 4. 24. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	136
Tabla 4. 25. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	137
Tabla 4. 26. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	138
Tabla 4. 27. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	139
Tabla 4. 28. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	140
Tabla 4. 29. Resumen de resultados del Módulo Resiliente de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	140
Tabla 5. 1. Valores de C.B.R. y Módulo Resiliente de SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	141
Tabla 5. 2. Módulo Resiliente para SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) obtenidos a partir de la ecuación de la correlación .....	142
Tabla 5. 3. Valores de C.B.R. y Módulo Resiliente de SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	143
Tabla 5. 4. Módulo Resiliente para SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) obtenidos a partir de la ecuación de la correlación .....	144



Tabla 5. 5. Comparación de valores del Módulo Resiliente obtenidos por la ecuación de correlación y valores de distintos autores .....	145
Tabla 5. 6. Tráfico Promedio Anual (TPDA) .....	146
Tabla 5. 7. Nivel de confianza según la clasificación funcional de una vía ....	146
Tabla 5. 8. Valores recomendados para la variación estándar $S_o$ .....	147
Tabla 5. 9. Tipos de vehículos motorizados, remolques y semirremolques ...	148
Tabla 5. 10. TPDA final .....	148
Tabla 5. 11. Factor de carga equivalente .....	149
Tabla 5. 12. Resumen de resultados del diseño por el método AASHTO y correlación.....	165

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Capas de la estructura de la vía.....	6
Figura 1. 2. Representación del ciclo de las rocas .....	9
Figura 1. 3. Ubicación Mina Copeto (Toachi – Santo Domingo de los Tsáchilas).....	10
Figura 1. 4. Capas de la estructura de la vía.....	10
Figura 1. 5. Ubicación Mina Copeto (Toachi – Santo Domingo de los Tsáchilas).....	13
Figura 2. 1. Curva granulométrica de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	20
Figura 2. 2. Curva granulométrica de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	22
Figura 2. 3. Curva granulométrica de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	24
Figura 2. 4. Curva granulométrica de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	26
Figura 2. 5. Curva granulométrica de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	28
Figura 2. 6. Curva granulométrica de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	30
Figura 2. 7. Curva granulométrica de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas).....	32

Figura 3. 1. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad .....	62
Figura 3. 2. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad .....	64
Figura 3. 3. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad .....	66
Figura 3. 4. Proctor Modificado BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad .....	68
Figura 3. 5. Proctor Modificado BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad .....	70
Figura 3. 6. Proctor Modificado BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad .....	72
Figura 3. 7. Proctor Modificado BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad .....	74
Figura 3. 8. C.B.R. SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración.....	78
Figura 3. 9. C.B.R. SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.....	79
Figura 3. 10. C.B.R. SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración.....	82
Figura 3. 11. C.B.R. SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.....	83
Figura 3. 12. C.B.R. SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración.....	86

Figura 3. 13. C.B.R. SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.....	87
Figura 3. 14. C.B.R. BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración .....	90
Figura 3. 15. C.B.R. BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R. ....	91
Figura 3. 16. C.B.R. BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración.....	94
Figura 3. 17. C.B.R. BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.....	95
Figura 3. 18. C.B.R. BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración.....	98
Figura 3. 19. C.B.R. BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.....	99
Figura 3. 20. C.B.R. BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración.....	102
Figura 3. 21. C.B.R. BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.....	103
Figura 4. 1. Estados de esfuerzos en la sub-rasante .....	108
Figura 4. 2. Estados de esfuerzos provocados en la sub-rasante por el paso de un vehículo en movimiento.....	109

Figura 4. 3. Deformación acumulada con el número de aplicaciones del esfuerzo desviador..... 111

Figura 5. 1. Ecuación de Módulo Resiliente para SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) ..... 142

Figura 5. 2. Ecuación de Módulo Resiliente para BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)..... 143

Figura 5. 3. Número estructural de la Sub-rasante obtenido por el programa de AASHTO (93) ..... 151

Figura 5. 4. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Base Clase 1 Tipo A..... 152

Figura 5. 5. Número estructural de la Base Clase 1 Tipo A obtenido por el programa de AASHTO (93) ..... 153

Figura 5. 6. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Sub-base Clase 1.... 154

Figura 5. 7. Número estructural de la Sub-base Clase 1 obtenido por el programa de AASHTO (93) ..... 155

Figura 5. 8. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica .. 156

Figura 5. 9. Espesores de la estructura vial por el método AASHTO (1993) . 157

Figura 5. 10. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Base Clase 1 Tipo A..... 159

Figura 5. 11. Número estructural de la Base Clase 1 tipo A obtenido por el programa de AASHTO (93) ..... 160

Figura 5. 12. Ábaco para obtener el número estructural de Base Clase 1 Tipo A .. 161

Figura 5. 13. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Sub-base Clase 1.. 162

Figura 5. 14. Número estructural de la Sub-base Clase 1 obtenido por el programa de AASHTO (93) ..... 163

Figura 5. 15. Espesores de la estructura vial por correlación obtenida ..... 165

Figura 5. 16. Comparación de espesores de la vía obtenidos por método AASHTO (1993) y correlación ..... 165

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2. 1. Contenido orgánico en el agregado de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) .....	39
--	----

### ANEXOS

Fotografía 1. Mina Copeto.....	177
Fotografía 2. Agregados de la Mina .....	177
Fotografía 3. Agregados de la Mina .....	178
Fotografía 4. Tamizado de material.....	179
Fotografía 5. Durabilidad de los agregados a la acción de sulfatos .....	179
Fotografía 6. Equivalente de arena .....	179
Fotografía 7. Desgaste a la abrasión .....	179
Fotografía 8. Compactación del material.....	180
Fotografía 9. Compactación del material.....	180
Fotografía 10. Saturación de la muestra .....	180
Fotografía 11. Lectura del DIAL .....	180
Fotografía 12. Maquina Triaxial.....	182
Fotografía 13. Compactación .....	182
Fotografía 14. Martillo Compactador .....	182
Fotografía 15. Colocación de membrana .....	182

## Introducción

Esta investigación va orientada a la obtención de una correlación técnica entre los ensayos de C.B.R. de laboratorio y Módulo Resiliente, realizados a agregados que provienen de la mina de Copeto ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Los materiales procedentes de las canteras son utilizados para la elaboración de la sección de la vía, tanto para la conformación de base y sub-base que ayudan a que la capa de rodadura resista a las solicitaciones que vaya a tener en su vida útil por cargas vehiculares.

El C.B.R. (California Bearing Ratio), es un método muy utilizado para la caracterización de suelos, teniendo en cuenta el control de la humedad y densidad en los agregados que dan una mayor resistencia al esfuerzo cortante para la fabricación de pavimentos flexibles (Camacho, 2013).

El Módulo Resiliente es una metodología que sirve para la caracterización de suelos, así como los materiales en este caso los agregados que sirven para la constitución de la sección de la estructura de la vía.

Este método de AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) en la actualidad es utilizado para la elaboración de pavimentos.

El Módulo Resiliente puede ser determinado a través de una correlación con el C.B.R. mediante fórmulas empíricas, pero en el presente trabajo se realizará ensayos de laboratorio para obtener valores reales y específicos de los



materiales teniendo como resultado una mayor información de los agregados a utilizarse y así conseguir una optimización de materiales en el espesor de las capas que conformarán la estructura de la vía.

El espesor de cada capa depende de algunos factores, entre los principales tenemos la cantidad de vehículos en la capa de rodadura, condiciones climáticas, condición del suelo de la sub-rasante y posición del nivel freático.

En la nueva normativa AASHTO para el diseño y construcción de carreteras, se determina la necesidad de obtener Módulos Resilientes de la estructura sometida a cargas dinámicas, esto en la base y sub-base y los materiales que van a conformar la estructura del pavimento.

Esta metodología no es utilizada en la actualidad en nuestro país ya que se realiza únicamente el ensayo de C.B.R. de laboratorio y mediante fórmulas empíricas se encuentra el Módulo Resiliente, teniendo en cuenta que dichas fórmulas no corresponderían necesariamente a los tipos de materiales existentes en las minas de nuestro país.

Una vez se realice esta investigación y se determinen los valores de los ensayos de Módulo Resiliente y C.B.R. de laboratorio de los materiales de base y sub-base de la mina en estudio, se podrá contar con datos reales para obtener la correlación que nos sirva para la optimización de material en el diseño de las capas de la estructura vial.

## **Antecedentes**

El C.B.R. de laboratorio es un ensayo que sirve para obtener datos reales de la resistencia al corte que puede tener el suelo controlando ciertas características del material como la humedad y densidad.

El objetivo de este ensayo es obtener la humedad óptima y los niveles de compactación de los agregados a utilizarse en la vía tanto en la base y sub-base de la estructura (Camacho, 2013).

El Módulo Resiliente es un ensayo que nos ayuda a determinar las características de los materiales que vamos a utilizar en la sub-rasante, sub-base y base para el diseño de pavimentos flexibles. Para este ensayo se usa la normativa AASHTO T307-99, donde se somete a una muestra a una carga con duración establecida teniendo en cuenta condiciones previstas de esfuerzo y humedad (Herrera Montealegre, 2014).

Los resultados de los ensayos serán obtenidos mediante la ayuda de la máquina triaxial, que nos dará valores reales de los materiales usados en la base y sub-base que conforma la estructura de la vía, los cuales son clasificados según la normativa NEVI-12-MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012).

Al obtener las muestras con sus características se procede a realizar el ensayo Proctor Modificado, el cual nos da los datos de densidad ideal y de humedad óptima para la compactación del material.

## **Justificación**

Esta investigación pretende realizar la comparación entre los ensayos de C.B.R. de laboratorio y Módulo Resiliente para generar un análisis técnico en la mina de estudio, para los agregados que conforman la base y sub-base siguiendo la normativa AASHTO, la cual nos ayudará a determinar el método más apropiado para obtener el espesor de cada capa optimizando la cantidad de material a utilizarse.

## **Planteamiento del problema**

En la construcción de vías, para la caracterización de materiales se ha utilizado el ensayo de C.B.R. para obtener los espesores que conformarán las capas de la estructura, tanto de la base como de la sub-base, para que esta tenga la suficiente resistencia para las solicitaciones que va a presentar en su vida útil, que mediante fórmulas empíricas obtenidas de estudios anteriores se puede determinar el Módulo Resiliente.

En la actualidad y según la nueva normativa AASHTO se realiza directamente el ensayo de Módulo Resiliente, el cual nos dará como resultado una optimización en el uso de materiales para el espesor de las diferentes capas, con valores reales de la mina en estudio que ayudará en el futuro en el diseño de vías que se construirán con los materiales provenientes de esta cantera.

## Objetivos

### ***Objetivo General***

- Comparación técnica entre los ensayos de laboratorio de Módulo Resiliente y C.B.R. de laboratorio para base y sub-base de la mina Copeto (Toachi – Santo Domingo de los Tsáchilas).

### ***Objetivos Específicos***

- Obtener el C.B.R. en el laboratorio de base y sub-base de los agregados de la mina Copeto (Toachi – Santo Domingo de los Tsáchilas).
- Obtener el Módulo Resiliente real de base y sub-base de los agregados de la mina Copeto (Toachi – Santo Domingo de los Tsáchilas).

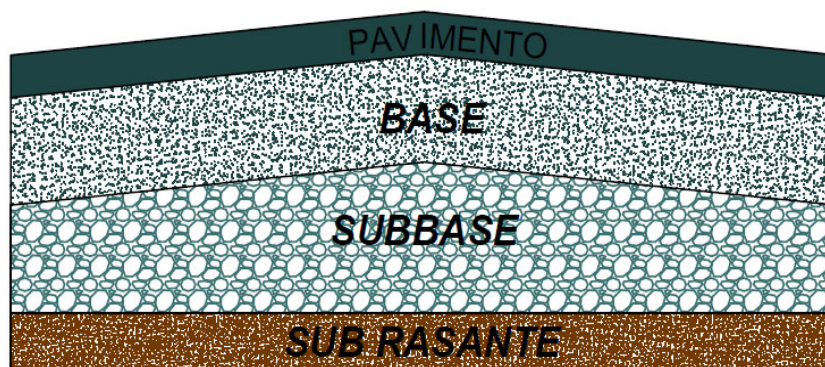
## CAPITULO 1. DEFINICIÓN Y ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES

### 1.1. Sub-base

#### 1.1.1. Definición de Sub-base

La Sub-base es una capa que conforma la estructura de la vía, ubicada por debajo de la base y por encima de la sub-rasante, como se muestra en la Figura 1.1, la cual tiene un espesor determinado por ensayos y dependiendo de las características propias del material que la conforma.

Figura 1. 1. Capas de la estructura de la vía



Al tener una sub-base correctamente diseñada impide la infiltración de agua y materiales provenientes de la sub-rasante y también sirve de drenaje para aguas que se pueda filtrar desde la parte superior de la estructura ya que podrían llegar a afectar las propiedades con las cuales se basó su diseño, y en un futuro pueden tener repercusiones en la resistencia que debe tener para las solicitaciones de esfuerzos que provienen de las capas superiores y de cargas vehiculares que deben ser correctamente transmitidas a la sub-rasante (Montejo Fonseca, 2002).

Esta capa ayuda a que la estructura reciba de mejor manera las cargas vehiculares provenientes de la capa de rodadura sin que esta tenga deformaciones permanentes, así como evita los problemas del congelamiento por temperaturas bajas.

La sub-base que se va a utilizar debe tener agregados con un coeficiente de desgaste máximo de 50%, de acuerdo con el ensayo de abrasión en la Máquina de los Ángeles con 500 vueltas y el material que pase el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25.

La capacidad de soporte será de un C.B.R. igual o mayor del 30% (Ministerio de Obras Públicas, 2002)

Existen 3 clases de sub-base según la normativa NEVI-12-MTOP:

- Sub-base clase 1: formada por agregados provenientes de trituración de rocas o gravas. Por lo menos el 30% del agregado preparado debe obtenerse por trituración.
- Sub-base clase 2: formadas por agregados provenientes del cribado o trituración de rocas o gravas que se fragmentan naturalmente. Por lo menos 25% de agregado obtenido por trituración y 75% por cribado.
- Sub-base clase 3: formadas por material proveniente de excavaciones para la plataforma o de fuentes de préstamo. El material que se utiliza es 100% cribado.

Los agregados que se van a utilizar en la sub-base se deben graduar de fino a grueso como se indica en la Tabla 1.1.

Tabla 1. 1. Porcentaje de material retenido en tamices para clases de sub-base

TAMIZ # (Granulometría)	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3"			100
2"		100	
1 1/2"	100	70-100	
No. 4	30-70	30-70	30-70
No. 40	10-35	15-40	
No. 200	0-15	0-20	0-20

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Norma Ecuatoriana Vial. Quito, Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

### 1.1.2. Concepto de agregado grueso

El agregado grueso de origen pétreo se obtiene a partir de minerales que se encuentran en la corteza terrestre, extraídos por procesos mecánicos puntualmente en canteras de explotación minera.

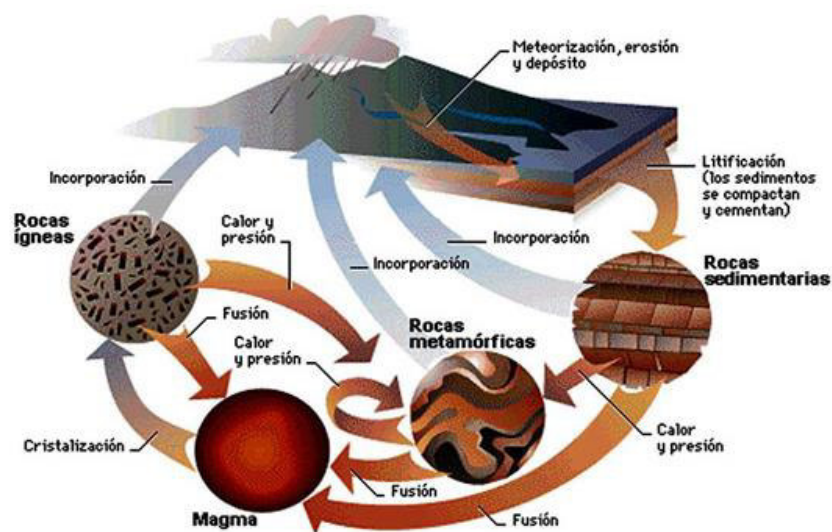
En su mayoría el agregado grueso está formado por grava y el resto por roca triturada que son sustancias sólidas naturales con composición interna definida y ordenada. Este tipo de agregado debe cumplir ciertas normas para su uso, pero en general deben tener partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de elementos químicos (Portland Cement Association, 2004).

### 1.1.3. Origen del agregado grueso

Los minerales y las rocas se originan de diversas maneras, clasificándose en tres grupos según sus características y proceso de formación: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Las rocas ígneas están formadas a partir de roca fundida, que se conoce como magma que se encuentra en la profundidad de la Tierra. Las rocas sedimentarias están formadas por restos de otras rocas de la clasificación existente, que por procesos físicos disgregan a otras rocas y estas partículas son transportadas a otros lugares por acción del viento, del agua, dando como resultado su formación. Por último, las rocas metamórficas aparecen por la existencia de grandes presiones y temperaturas a las cuales están sometidas las otras clases de roca (Villalobos Orchard, 2016).

Figura 1. 2. Representación del ciclo de las rocas



Fuente: Villalobos Orchard, J. (2016). Departamento de Geología Universidad de Chile. Recuperado el 5 de mayo de 2018, de Las rocas y su proceso de formación: <http://www.geologia.uchile.cl/las-rocas-y-sus-procesos-de-formacion>.





La función principal que tiene la base es constituir un elemento que resista y transmita los esfuerzos provenientes de las cargas vehiculares hacia la sub-base y sub-rasante. (Montejo Fonseca, 2002).

Otra función de la base es el drenaje, ya que por capilaridad existe infiltración de agua proveniente de capas inferiores para que no llegue a la capa de rodadura y también reduce el efecto del congelamiento por bajas temperaturas.

La base es la capa con mayor importancia en la estructura vial, es por eso por lo que la utilización de materiales debe ser de la mejor calidad y deben cumplir las normas más exigentes para cumplir los requerimientos y solicitudes para las cuales se diseña.

Entre los principales requerimientos para el uso de base que se va a utilizar está el límite líquido de la fracción que pase el tamiz No. 40 deberá ser menor de 25, y el índice de plasticidad menor de 6.

El porcentaje de abrasión del agregado en la Máquina de los Ángeles deberá ser menor del 40% y el valor de soporte del C.B.R. deberá ser igual o mayor al 80% (Ministerio de Obras Públicas, 2002).

Existen 4 clases de base según la normativa NEVI-12-MTOP:

- Base clase 1: formada por agregado grueso y agregado fino triturados en un 100%, graduados dentro de los límites granulométricos indicados para los tipos A y B como se indica en la Tabla 1.2 y mezclados necesariamente en una planta central.

- Base clase 2: formada por fragmentos de roca o gravas trituradas en un 50% o más, graduados con la granulometría adecuada como se indica en la Tabla 1.2 y mezclado necesariamente en una planta central.
- Base clase 3: formada por fragmentos de rocas o gravas trituradas por lo menos con el 25%, graduados con la granulometría adecuada como se indica en la Tabla 1.2 y mezclado preferentemente en una planta central.
- Base clase 4: formado por agregados obtenidos por cribado de rocas fragmentadas naturalmente o de grava en su totalidad, graduados con la granulometría adecuada como se indica en la Tabla 1.2.

Tabla 1. 2. Porcentaje de material retenido en tamices para clases de base

<b>TAMIZ # (Granulometría)</b>	<b>CLASE 1</b>		<b>CLASE 2</b>	<b>CLASE 3</b>	<b>CLASE 4</b>
	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>			
2"	100	100			100
1 1/2"	70-100	70-100			
1"	55-85	55-85	100		60-90
3/4"	50-80	60-90	70-100	100	
3/8"	35-70	45-75	50-80		
No. 4	25-50	30-60	35-65	45-80	20-50
No. 10	20-40	20-50	25-30	30-60	
No. 40	10-25	10-25	15-30	20-35	
No. 200	2-12	2-12	3-15	3-15	0-15

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Norma Ecuatoriana Vial. Quito, Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

### 1.2.2. Concepto de agregado fino

El agregado fino es un material que generalmente está compuesto por arena o también por la trituración de la roca con partículas de diámetros menores a 5 mm o 0.2 pulgadas (Portland Cement Association, 2004).

Este material debe cumplir ciertas características para la utilización en la base de la estructura vial, pero también se debe procurar que el agregado esté limpio, sus partículas tengan forma angular, sean duras y resistentes, sin presencia de terrones de arcilla y materia orgánica (Méndez Silva, 2012).

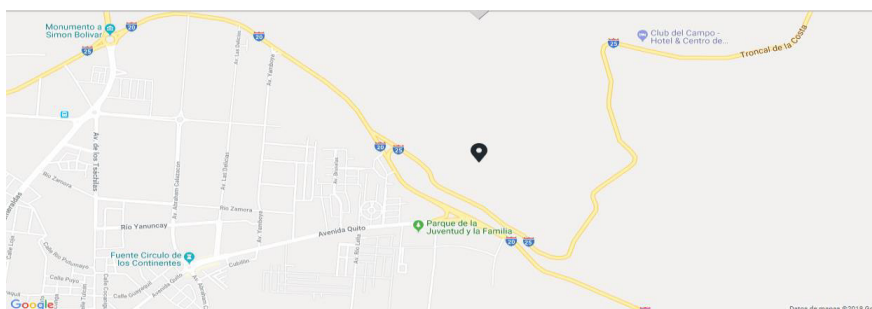
### 1.2.3. Origen del agregado fino

El agregado fino proviene de la trituración de rocas en la cantera, está formado por arena natural en lugares donde se encuentran aluviales, y también arena que se puede obtener artificialmente (Méndez Silva, 2012).

### 1.2.4. Procedencia del agregado fino

El agregado fino proviene de la cantera de Copeto (Toachi – Santo Domingo de los Tsáchilas).

Figura 1. 5. Ubicación Mina Copeto (Toachi – Santo Domingo de los Tsáchilas)



Fuente: (Google Maps, 2018)

## CAPÍTULO 2. ENSAYOS DE LABORATORIO

Para la ejecución de los ensayos de laboratorio vamos a utilizar la normativa ASTM que sirven de base para la normativa NEVI-12-MTOP y normativa INEN.

### 2.1. Muestreo de los agregados (ASTM D75)

Los agregados deben someterse a un control de calidad y conocer si existe algún tipo de variación importante y que se pueda apreciar.

En el caso de la mina Copeto (Toachi – Santo Domingo de los Tsáchilas), el método que se utilizó para la obtención de material fue el muestreo en un almacenamiento.

A continuación, se presenta la Tabla 2.1, donde se especifica la cantidad de material según su tamaño que se necesita para un ensayo de granulometría.

Tabla 2. 1. Cantidad de muestra según el tamaño del material

Tamaño del árido - mm (A)	Masa mínima de la muestra in situ - Kg (B)
<b>Áridos finos</b>	
2.36	10
4.75	10
<b>Áridos gruesos</b>	
9.5	10
12.5	15
19	25
25	50
37.5	75
50	100
63	125
75	150
90	175

A. Para los áridos procesados, utilizar el tamaño máximo nominal que se indica en la norma respectiva o en la descripción. Si la norma o descripción no indican un tamaño máximo nominal (por ejemplo, una abertura de tamiz que contemple un pasante del 90% al 100%), utilizar el tamaño máximo (la abertura de tamiz que pase el 100%).

B. Para áridos gruesos y finos combinados (por ejemplo, áridos para bases o subbases) la masa mínima debe ser la masa mínima del árido grueso más 10 Kg.

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D75-Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo. West Conshohocken, Estados Unidos.

## 2.2. Cuarteo de los agregados (ASTM C702)

El cuarteo de agregados sirve para obtener el material necesario para los ensayos de laboratorio, contando con muestras representativas de todo el material obtenido de la cantera por medio del muestreo de agregados.

## 2.3. Granulometría (ASTM C33)

La granulometría de los agregados tiene como finalidad conocer los diferentes tamaños de las partículas que existen en el material el cual se va a ensayar.

Según la (ASTM INTERNATIONAL, ASTM C33-Granulometría de agregados, 2006), la granulometría del agregado fino y grueso utiliza los siguientes tamices como se indica en la Tabla 2.2.

Tabla 2. 2. Tamices para granulometría de agregados

<b>ÁRIDO GRUESO</b>	Pulg. mm	2 50.8	1 1/2 32.1	1 25.4	3/4 19.0	1/2 12.7	3/8 9.51	No. 4 4.76
<b>ÁRIDO FINO</b>	Pulg. mm	No. 4 4.76	No. 8 2.36	No. 16 1.190	No. 30 0.595	No. 50 0.297	No. 100 0.152	

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C33-Granulometría de agregados. West Conshohocken, Estados Unidos.

Para la masa mínima de agregado fino se toman los valores de la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3. Masa mínima para el agregado fino

Tamaño	Masa mínima
Material con un 95 % más fino que el tamiz No. 8	100 g
Material con un 90% más fino que el tamiz No. 4 y con el 5 % más grueso que el tamiz No. 8	500 g

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C33-Granulometría de agregados. West Conshohocken, Estados Unidos.

Para la masa mínima del agregado grueso se toman los valores de la Tabla 2.4.

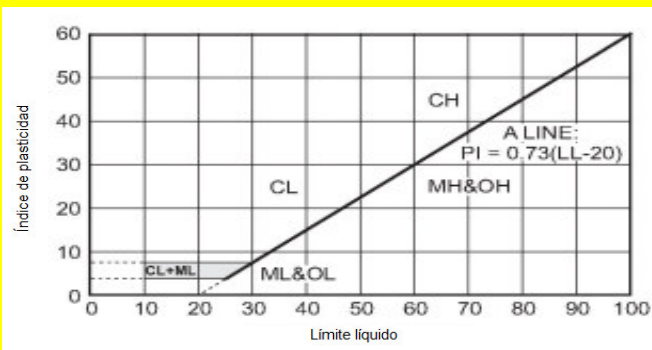
Tabla 2. 4. Masa mínima para el agregado grueso

Tamaño Máximo		Masa mínima
Pulg	mm	Kg
3/8	9.51	1
1/2	12.70	2.5
3/4	19	5
1	25.40	10
1 1/2	38.10	15
2	50.8	20

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C33-Granulometría de agregados. West Conshohocken, Estados Unidos.

Para obtener la clasificación del agregado en estudio se utiliza el método SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y AASHTO como se indica en la Tabla 2.5 y Tabla 2.6.

Tabla 2. 5. Clasificación de suelos SUCS

División Principal			Símbolo del grupo	Nombres típicos	Criterios de Clasificación			
Suelos de granos Gruesos 50% o más es retenido en el tamiz No. 200	Gravas 50% o más de la fracción gruesa es retenido en el tamiz No. 4	Gravas limpias	GW	Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos	Clasificación basada en el porcentaje de finos Menos del 5% pasa por el tamiz No. 200 GW, GP, SW, SP Más del 12% pasa por el tamiz No. 200 GM, GC, SM, SC 15% a 12% pasa por el tamiz No. 200 Para clasificación de fronteras se necesitan símbolos dobles	$C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_u = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ Mayor que 4 Entre 1 y 3		
			GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin finos		Si los criterios para GW no se cumplen		
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas de grava - arena y limo		Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4	Si los límites de Atterberg se localizan en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles	
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena y arcilla		Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7		
	Arenas Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	Arenas limpias	SW	Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos		$C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_u = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ Mayor que 6 Entre 1 y 3		
			SP	Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos		Si no se cumplen los criterios para SW		
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena limo		Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4	Para los límites de Atterberg localizados en el área sombreada se debe clasificar utilizando símbolos dobles	
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7		
			Suelos de granos Finos 50% o más pasa por el tamiz No. 200	Limos y Arcillas límite líquido de 50% o inferior		ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas	
						CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla	
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad							
Limos y Arcillas límite superior a 50%	MH	Limos inorgánicos, arenas finas, o limos micáceos o de diatomeas limos elásticos						
	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad						
	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media						
Suelos altamente orgánicos			PT	Turba, etiércol y otros suelos altamente orgánicos	Para la identificación visual y manual, ir a ASTM norma D 2488			

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D-2487-17-Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). West Conshohocken, Estados Unidos.



Tabla 2. 6. Clasificación de suelos ASSHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
Grupo:	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa: Nº 10 Nº 40 Nº 200	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx				- - 36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40											
Límite líquido	-		-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			
(1):	No plástico										
(2):	El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30										
	El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30										

Fuente: Braja M. Das. (1998). Principles of Geotechnical Engineering.

### 2.3.1. Resultados

#### Granulometría de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

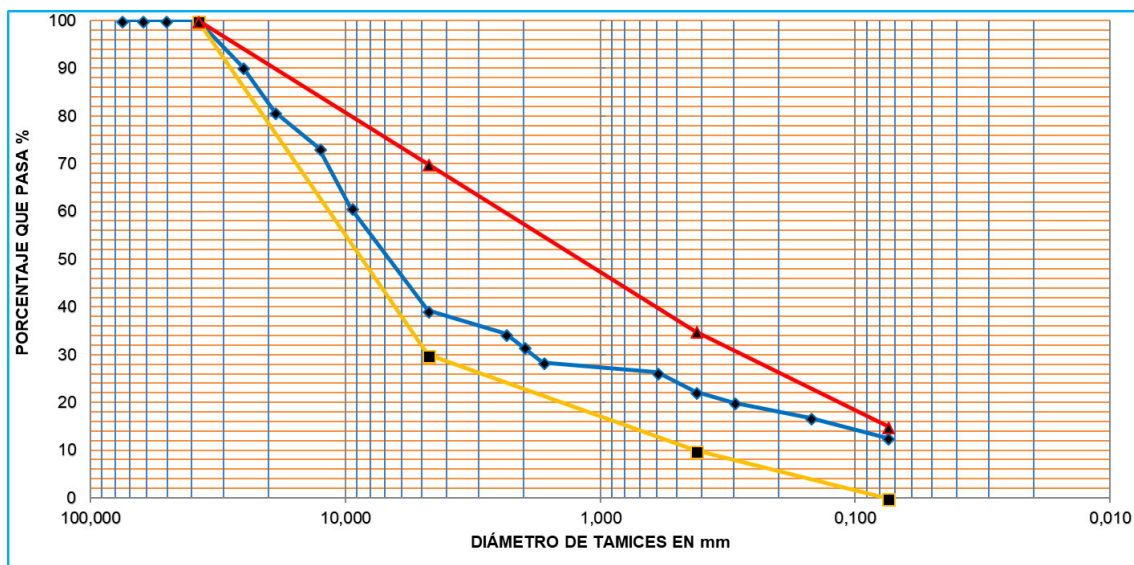
Tabla 2. 7. Granulometría de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tamiz # (Pulg)	Masa retenida (g)		% Retenido	% que pasa	Especif.
	Parcial	Acumulado			
3	0	0	0	100	100 100
2 1/2	0	0	0	100	
2	0	0	0	100	
1 1/2	0	0	0	100	
1	609	609	9,74	90,26	30 70
3/4	591	1200	19,19	80,81	
1/2	472	1672	26,74	73,26	
3/8	783	2455	39,26	60,74	
No. 4	1342	3797	60,72	39,28	10 35
Pasa No. 4	2456	2456	39,28		
Σ	6253			Finos	
No. 4	0	0	0	39,28	
No. 8	95,09	95,09	4,86	34,42	0 15
No. 10	55,41	150,50	7,69	31,58	
No. 16	62,23	212,73	10,87	28,40	
No. 20					
No. 30	41,29	254,02	12,98	26,29	
No. 40	78,94	332,96	17,02	22,26	
No. 50	44,31	377,27	19,28	19,99	
No. 60					
No. 100	62,39	439,66	22,47	16,80	
No. 200	82,91	522,57	26,71	12,57	
Pasa No. 200	245,85	245,85	12,57		
Σ	768,42				

Tabla 2. 8. Clasificación de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CLASIFICACIÓN	
SUCS AASHTO	GW A-1-a
Observaciones	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 2. 1. Curva granulométrica de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)



## Granulometría de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

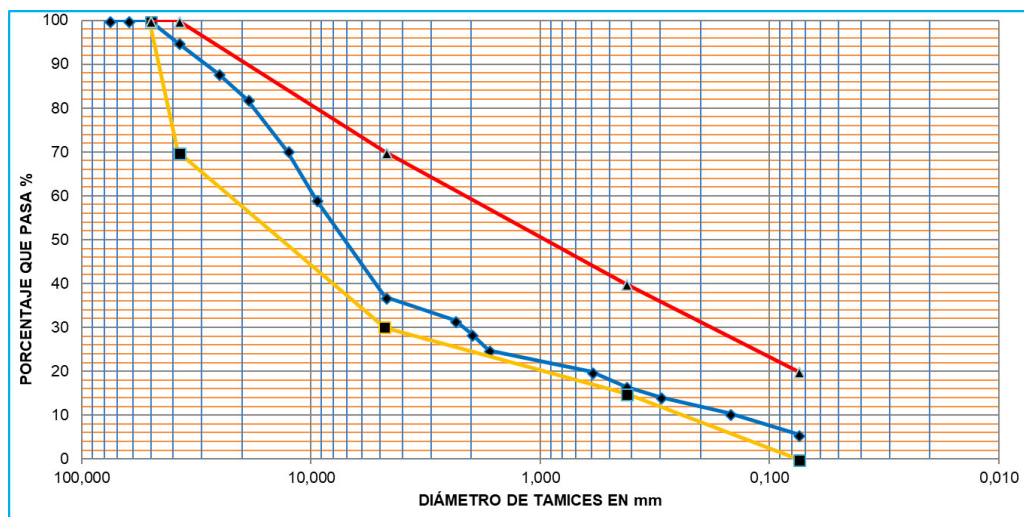
Tabla 2. 9. Granulometría de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tamiz # (Pulg)	Masa retenida (g)		% Retenido	% que pasa	Especif.	
	Parcial	Acumulado				
3	0	0	0	100		
2 1/2	0	0	0	100		
2	0	0	0	100	100	100
1 1/2	312	312	5,13	94,87	70	100
1	429	741	12,19	87,81		
3/4	355	1096	18,02	81,98		
1/2	711	1807	29,72	70,28		
3/8	684	2491	40,96	59,04		
No. 4	1341	3832	63,02	36,98	30	70
Pasa No. 4	2249	2249	36,98			
Σ	6081			Finos		
No. 4	0	0	0	36,98		
No. 8	98,11	98,11	5,35	31,63		
No. 10	56,72	154,83	8,44	28,54		
No. 16	68,43	223,26	12,17	24,81		
No. 20						
No. 30	90,22	313,48	17,09	19,89		
No. 40	61,08	374,56	20,43	16,56	15	40
No. 50	44,57	419,13	22,86	14,13		
No. 60						
No. 100	67,43	486,56	26,53	10,45		
No. 200	88,22	574,78	31,34	5,64	0	20
Pasa No. 200	103,42	103,42	5,64			
Σ	678,20					

Tabla 2. 10. Clasificación de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CLASIFICACIÓN	
<b>SUCS AASHTO</b>	<b>GW A-1-a</b>
<b>Observaciones</b>	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 2. 2. Curva granulométrica de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)



## Granulometría de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

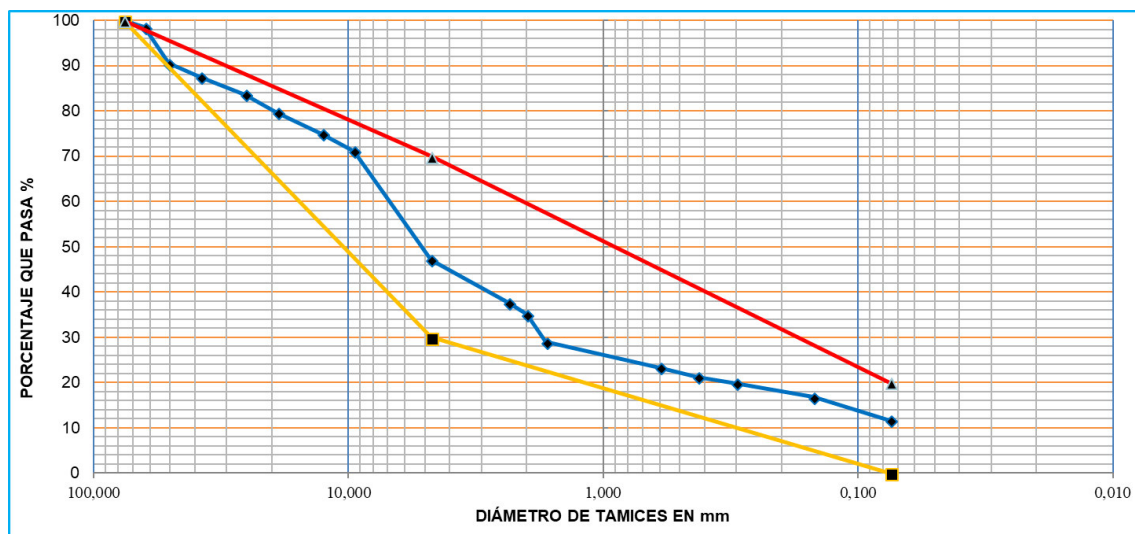
Tabla 2. 11. Granulometría de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tamiz # (Pulg)	Masa retenida (g)		% Retenido	% que pasa	Especif.
	Parcial	Acumulado			
3	0	0	0	100	100 100
2 1/2	212	212	1,47	98,53	
2	1150	1362	9,46	90,54	
1 1/2	450	1812	12,59	87,41	
1	550	2362	16,41	83,59	
3/4	570	2932	20,37	79,63	
1/2	670	3602	25,02	74,98	
3/8	550	4152	28,84	71,16	
No. 4	3456	7608	52,84	47,16	
Pasa No. 4	6789	6789	47,16		
Σ	14397			Finos	30 70
No. 4	0	0	0	47,16	
No. 8	131,07	131,07	9,51	37,65	
No. 10	35,99	167,06	12,12	35,04	
No. 16	83,55	250,61	18,18	28,97	
No. 20					
No. 30	78,16	328,77	23,85	23,30	
No. 40	28	356,77	25,88	21,27	
No. 50	20,04	376,81	27,34	19,82	
No. 60					
No. 100	41,47	418,28	30,35	16,81	0 20
No. 200	71,24	489,52	35,51	11,64	
Pasa No. 200	160,50	160,50	11,64		
Σ	650,02				

Tabla 2. 12. Clasificación de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CLASIFICACIÓN	
<b>SUCS AASHTO</b>	<b>GW A-1-a</b>
<b>Observaciones</b>	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 2. 3. Curva granulométrica de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)



## Granulometría de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 13. Granulometría de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

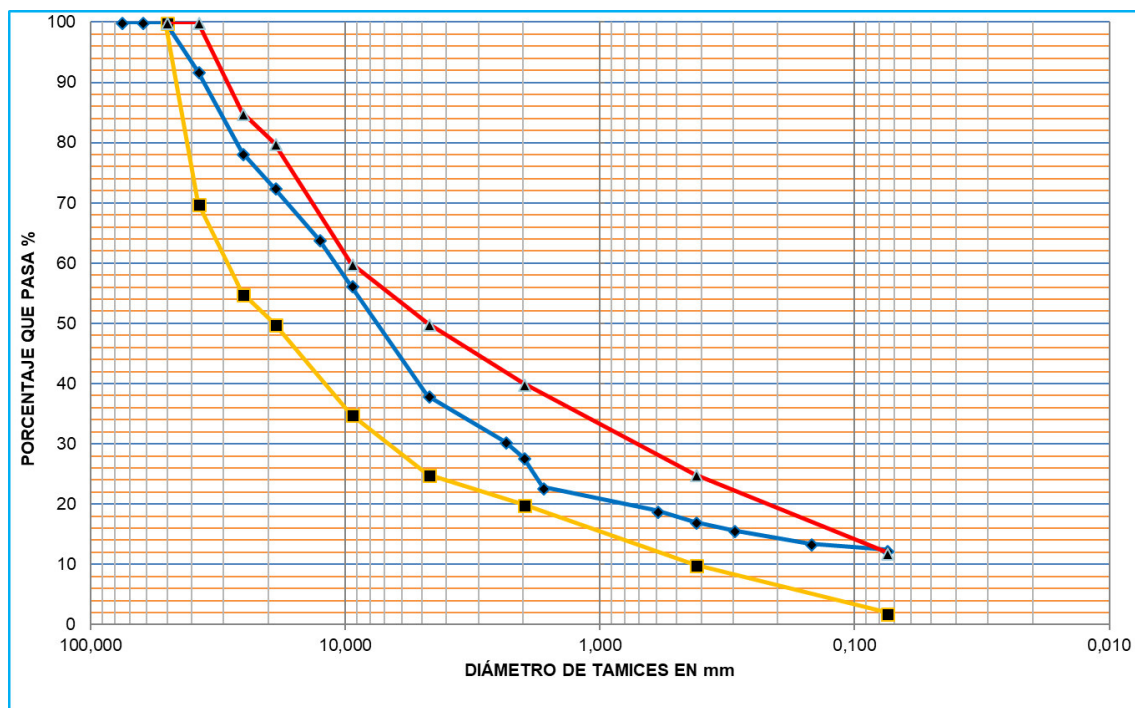
Tamiz # (Pulg)	Masa retenida (g)		% Retenido	% que pasa	Especif.	
	Parcial	Acumulado				
3	0	0	0	100		
2 1/2	0	0	0	100		
2	0	0	0	100	100	100
1 1/2	551	551	8,17	91,83	70	100
1	912	1463	21,69	78,31	55	85
3/4	389	1852	27,45	72,55	50	80
1/2	581	2433	36,07	63,93		
3/8	514	2947	43,69	56,31	35	70
No. 4	1233	4180	61,96	38,04	25	50
Pasa No. 4	2566	2566	38,04			
Σ	6746			Finos		
No. 4	0	0	0	38,04		
No. 8	143,21	143,21	7,62	30,42		
No. 10	50,62	193,83	10,31	27,73	20	40
No. 16	91,98	285,81	15,20	22,83		
No. 20						
No. 30	73,45	359,26	19,11	18,93		
No. 40	34,39	393,65	20,94	17,10	10	25
No. 50	26,68	420,33	22,36	15,68		
No. 60						
No. 100	41,47	461,80	24,57	13,47		
No. 200	20,21	482,01	25,64	12,40	2	12
Pasa No. 200	233	233	12,40			
Σ	715,01					



Tabla 2. 14. Clasificación de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CLASIFICACIÓN	
SUCS AASHTO	GW A-1-a
Observaciones	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 2. 4. Curva granulométrica de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)



## Granulometría de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

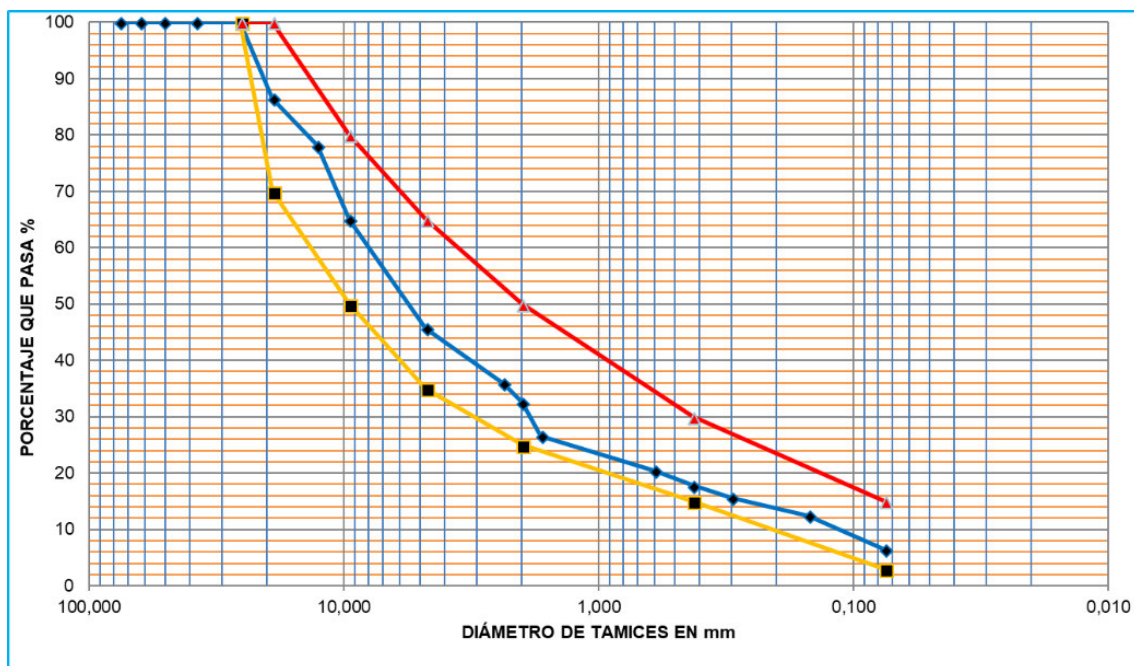
Tabla 2. 15. Granulometría de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tamiz # (Pulg)	Masa retenida (g)		% Retenido	% que pasa	Especif.
	Parcial	Acumulado			
3	0	0	0	100	
2 1/2	0	0	0	100	
2	0	0	0	100	
1 1/2	0	0	0	100	
1	0	0	0	100	100 100
3/4	694	694	13,54	86,46	70 100
1/2	428	1122	21,90	78,10	
3/8	672	1794	35,01	64,99	50 80
No. 4	989	2783	54,31	45,69	35 65
Pasa No. 4	2341	2341	45,69		
Σ	5124			Finos	
No. 4	0	0	0	45,69	
No. 8	127,62	127,62	9,74	35,95	
No. 10	44,91	172,53	13,17	32,52	25 30
No. 16	77,63	250,16	19,09	26,60	
No. 20					
No. 30	80,42	330,58	25,23	20,46	
No. 40	34,37	364,95	27,85	17,84	15 30
No. 50	29,08	394,03	30,07	15,62	
No. 60					
No. 100	41,47	435,50	33,23	12,45	
No. 200	78,92	514,42	39,26	6,43	3 15
Pasa No. 200	84,28	84,28	6,43		
Σ	598,70				

Tabla 2. 16. Clasificación de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CLASIFICACIÓN	
SUCS AASHTO	GW A-1-a
Observaciones	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 2. 5. Curva granulométrica de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)



## Granulometría de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

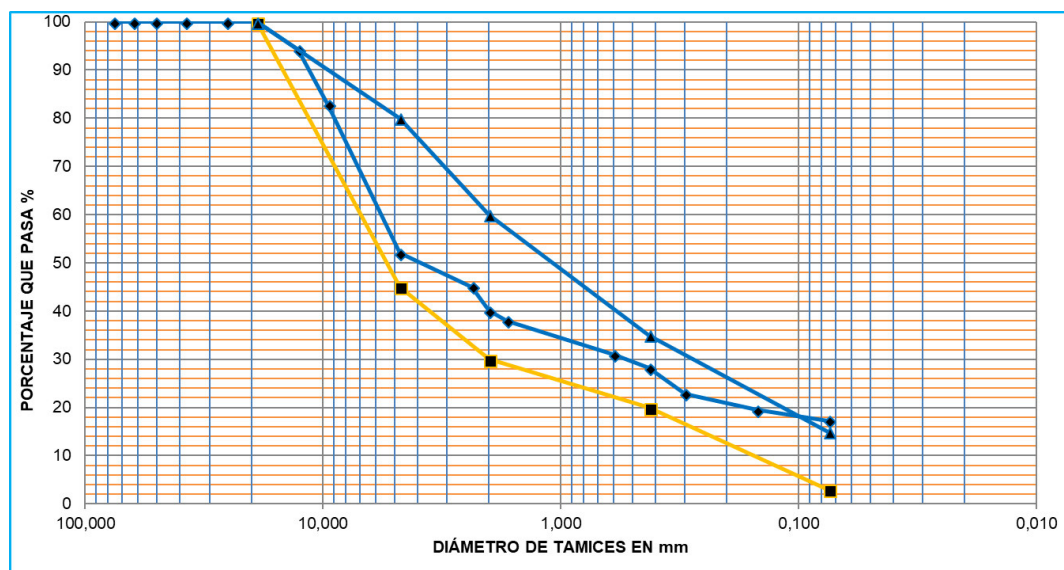
Tabla 2. 17. Granulometría de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tamiz # (Pulg)	Masa retenida (g)		% Retenido	% que pasa	Especif.	
	Parcial	Acumulado				
3	0	0	0	100		
2 1/2	0	0	0	100		
2	0	0	0	100		
1 1/2	0	0	0	100		
1	0	0	0	100		
3/4	0	0	0	100	100	100
1/2	231	231	5,76	94,24		
3/8	459	690	17,22	82,78		
No. 4	1233	1923	47,98	52,02	45	80
Pasa No. 4	2085	2085	52,02			
Σ	4008			Finos		
No. 4	0	0	0	52,02		
No. 8	85,02	85,02	6,98	45,04		
No. 10	61,32	146,34	12,02	40,00	30	60
No. 16	24,51	170,85	14,04	37,98		
No. 20						
No. 30	85,41	256,26	21,05	30,97		
No. 40	34,22	290,48	23,86	28,16	20	35
No. 50	64,56	355,04	29,17	22,85		
No. 60						
No. 100	41,47	396,51	32,58	19,45		
No. 200	26,87	423,38	34,78	17,24	3	15
Pasa No. 200	209,82	209,82	17,24			
Σ	633,20					

Tabla 2. 18. Clasificación de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CLASIFICACIÓN	
<b>SUCS AASHTO</b>	<b>GW A-1-a</b>
<b>Observaciones</b>	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 2. 6. Curva granulométrica de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)



## Granulometría de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

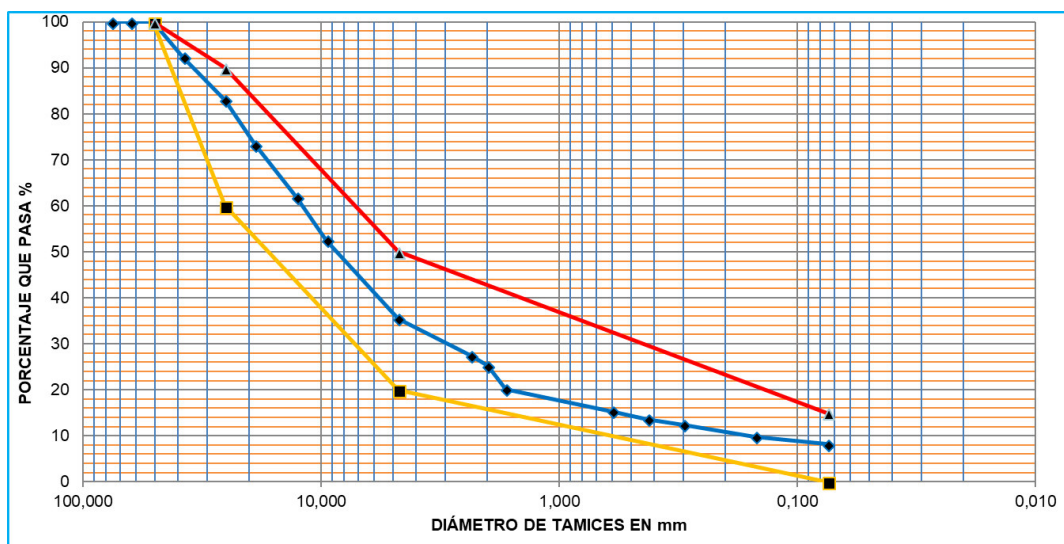
Tabla 2. 19. Granulometría de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tamiz # (Pulg)	Masa retenida (g)		% Retenido	% que pasa	Especif.	
	Parcial	Acumulado				
3	0	0	0	100		
2 1/2	0	0	0	100		
2	0	0	0	100	100	100
1 1/2	450	450	7,65	92,35		
1	550	1000	17,01	82,99	60	90
3/4	570	1570	26,70	73,30		
1/2	670	2240	38,10	61,90		
3/8	550	2790	47,45	52,55		
No. 4	1005	3795	64,54	35,46	20	50
Pasa No. 4	2085	2085	35,46			
Σ	5880			Finos		
No. 4	0	0	0	35,46		
No. 8	131,07	131,07	8,02	27,44		
No. 10	35,99	167,06	10,22	25,24		
No. 16	83,55	250,61	15,34	20,12		
No. 20						
No. 30	78,16	328,77	20,12	15,34		
No. 40	28	356,77	21,83	13,63		
No. 50	20,04	376,81	23,06	12,40		
No. 60						
No. 100	41,47	418,28	25,60	9,86		
No. 200	26,87	445,15	27,24	8,22	0	15
Pasa No. 200	134,27	134,27	8,22			
Σ	579,42					

Tabla 2. 20. Clasificación de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CLASIFICACIÓN	
<b>SUCS AASHTO</b>	<b>GW A-1-a</b>
<b>Observaciones</b>	Caso de frontera; Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos; Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino. Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios

Figura 2. 7. Curva granulométrica de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)



#### **2.4. Gravedad Específica (ASTM C127 – C128)**

La gravedad específica o densidad relativa es la comparación entre el peso unitario de un material con el peso unitario del agua.

Esta característica del material también es usada para determinar el volumen que ocupa el agregado en varias mezclas donde se encontrará el material.

Gravedad específica Bulk aparente, es la relación entre el peso en el aire del volumen de la porción impermeable del agregado y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada (Intituto Nacional de Vías, 2007).

Gravedad específica Bulk, es la relación entre el peso en el aire del volumen de agregado incluyendo los vacíos permeables e impermeables de sus partículas pero no los vacíos entre partículas y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada (Intituto Nacional de Vías, 2007).

Gravedad específica Bulk en condición saturada con superficie seca, es la relación entre el peso en el aire en condición saturada con superficie seca, incluyendo el peso del agua que ocupa los vacíos de las partículas luego de la inmersión por 15 horas, pero sin incluir los vacíos entre partículas y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada (Intituto Nacional de Vías, 2007).

La absorción es el cambio de masa del agregado por la presencia de agua en los poros con las partículas que conforman el material, se lo compara con la condición seca de la muestra.



#### 2.4.1. Gravedad Específica y absorción del agregado fino (ASTM C128)

Se determina la masa de agua añadida al matraz:

$$Ma = Mmw - (Mm + B)$$

Donde:

Ma: Masa de agua añadida al matraz (g)

Mm: Masa del matraz (g)

Mmw: Masa del conjunto (matraz, agua, muestra) (g)

B: Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)

La gravedad específica Bulk:

$$Ge = \frac{A}{500 - Ma}$$

Donde:

Ge: Gravedad específica Bulk

A: Masa de la muestra seca (g)

Ma: Masa de agua añadida al matraz (g)

La gravedad específica saturada con superficie seca:

$$Ges = \frac{B}{500 - Ma}$$

Donde:

Ges: Gravedad específica saturada con superficie seca

B: Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)

Ma: Masa de agua añadida al matraz (g)

La gravedad específica aparente:

$$G_{ea} = \frac{A}{500 + A + M_m - M_{mw}}$$

Donde:

Gea: Gravedad específica aparente

A: Masa de la muestra seca (g)

Mm: Masa del matraz (g)

Mmw: Masa del conjunto (matraz, agua, muestra) (g)

Absorción del agregado:

$$\% Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

% Ab: Porcentaje de absorción del agregado fino

B: Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)

A: Masa de la muestra seca (g)<sup>1</sup>

#### 2.4.1.1. Resultados

#### Gravedad específica y absorción del agregado fino de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 21. Gravedad específica y absorción del agregado fino de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO								
Mmw (g)	Mm (g)	B (g)	Ma (g)	A (g)	Ge	Ges	Gea	% Ab
978	156,7	500	321,3	487,8	2,73	2,80	2,93	2,50

#### 2.4.2. Gravedad Específica y absorción del agregado grueso (ASTM C127)

La gravedad específica Bulk:

$$Ge = \frac{A}{B - C + D}$$

Donde:

Ge: Gravedad específica Bulk

A: Masa de la muestra seca (g)

---

<sup>1</sup> ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C128-Gravedad específica y absorción del agregado fino. West Conshohocken, Estados Unidos.

B: Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)

C: Masa de la muestra sumergida en el agua (g)

D: Masa de la cesta sumergida (g)

La gravedad específica saturada con superficie seca:

$$Ges = \frac{B}{B - C + D}$$

Donde:

Ges: Gravedad específica saturada con superficie seca

B: Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)

C: Masa de la muestra sumergida en el agua (g)

D: Masa de la cesta sumergida (g)

La gravedad específica aparente:

$$Gea = \frac{A}{A - C + D}$$

Donde:

Gea: Gravedad específica aparente

A: Masa de la muestra seca (g)

C: Masa de la muestra sumergida en el agua (g)

D: Masa de la cesta sumergida (g)

Absorción del agregado:

$$\% Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

% Ab: Porcentaje de absorción del agregado grueso

B: Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)

A: Masa de la muestra seca (g)<sup>2</sup>

#### 2.4.2.1. Resultados

#### Gravedad específica y absorción del agregado grueso de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 22. Gravedad específica y absorción del agregado grueso de la Mina de Copeto  
(Santo Domingo de los Tsáchilas)

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO							
A (g)	B (g)	C (g)	D (g)	Ge	Ges	Gea	% Ab
4945	5000	3467	369	2,60	<b>2,63</b>	2,68	<b>1,11</b>

<sup>2</sup> ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C127-Gravedad específica y absorción del agregado grueso., Estados Unidos.

## 2.5. Contenido orgánico (ASTM C40-99)

El ensayo de contenido orgánico sirve para identificar si existen componentes orgánicos perjudiciales en arenas naturales que componen el agregado.

### 2.5.1. Resultados

#### Contenido orgánico en el agregado:

Fotografía 2. 1. Contenido orgánico en el agregado de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)



Tabla 2. 23. Contenido orgánico en el agregado de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

<b>Color en carta de colores impurezas orgánicas:</b>	Luego de preparar la solución de hidróxido de sodio reactivo al 3%; disolver 3 partes en masa de hidróxido de sodio grado reactivo (NaOH) en 97 partes de agua, se coloca 450gr de arena para estudio, mezclando mediante agitacion asta ver que este totalmente mezclado y dejando reposar 24H se puede observar que corresponde a la figura dos.
<b>Observaciones:</b>	Se observa que esta el color N° 2 lo que debe interpretarse que la arena puede ser utilizada para concreto o morteros.

## **2.6. Determinación de terrones de arcilla y de partículas friables (desmenuzables) en los agregados (ASTM C142-97)**

Este ensayo nos da a conocer la cantidad de sustancias nocivas y perjudiciales tiene el agregado que se encuentran en terrones de arcilla y partículas desmenuzables, los cuales por una reacción química pueden reducir la resistencia del material formando una pasta endurecida sobre este.

Porcentaje de grumos de arcilla y partículas desmenuzables en el agregado:

$$P = \frac{W - R}{W} \times 100$$

Donde:

P: Porcentaje de grumos de arcilla y partículas desmenuzables en el agregado

W: Peso de la muestra de ensayo (para agregado fino, el peso de la porción más gruesa que la malla No. 16.

R: Peso de las partículas retenidas en la malla designada.

Para agregados gruesos, el Porcentaje de grumos de arcilla y partículas desmenuzables será el promedio en los porcentajes de grumos de arcilla y partículas desmenuzables en cada tamaño de la malla por fracción de peso.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C142-97 determinación de terrones de arcilla y de partículas friables (desmenuzables) en los agregados. West Conshohocken, Estados Unidos.

### 2.6.1. Resultados

#### Porcentaje de terrones de arcilla y de partículas friables (desmenuzables) en el agregado de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 24. Porcentaje de terrones de arcilla y de partículas friables en el agregado de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS FRIABLES		
W (g)	R(g)	P (%)
5000	4989	0,22
Observación	El máximo porcentaje de materiales deletéreos en los agregados es de 1% en peso según la norma ASTM C142. En este caso el agregado en estudio cumple con la especificación.	

### 2.7. Durabilidad de los agregados a la acción de sulfatos (sulfato de sodio y de magnesio) (ASTM C88)

Este ensayo sirve para conocer el desgaste de los agregados a la acción de sulfatos (sulfato de sodio y de magnesio), al estar en contacto con el suelo y con el agua, para conocer qué porcentaje de afectación tendrá el material.

Con este ensayo se puede conocer la resistencia que tendrán los agregados a la acción climática cuando ya formen parte del proyecto.



Tabla 2. 25. Fracción de muestra para el agregado grueso

FRACCIÓN DE MUESTRA PARA EL AGREGADO GRUESO					
Fracción	Número del Tamiz				Masa mínima de la muestra g
	Pasa		Retiene		
	Pulg	mm	Pulg	mm	
1	3/8	9.51	No. 4	4.76	300
2	3/4	19	3/8	9.51	1
	3/4	19	1/2	12.7	670
	1/2	12.7	3/8	9.51	330
3	1 1/2	38.1	3/4	19	1.5
	1 1/2	38.1	1	25.4	1000
	1	25.4	3/4	19	500
4	2 1/2	64	1 1/2	38.1	5000
	2 1/2	64	2	50.8	3000
	2	50.8	1 1/2	38.1	2000

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C88-Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de sodio o sulfato de magnesio. West Conshohocken, Estados Unidos.

Se determina el porcentaje retenido parcial:

$$\% \text{ Retenido parcial} = \frac{\text{Masa retenida parcial}}{\text{Masa total de muestra}} \times 100$$

Porcentaje que pasa el tamiz más fino después del ensayo (este valor se calcula para cada fracción):

$$\% \text{ que pasa} = \frac{\text{Masa inicial} - \text{Masa retenida después del ensayo}}{\text{Masa inicial}} \times 100$$

Porcentaje de desgaste parcial:

$$\% \text{ desg. parcial} = \frac{\text{Masa total de la muestra} - \text{masa retenida parcial}}{\text{Masa total de la muestra}} \times 100$$

El porcentaje de desgaste total del agregado a la acción de sulfato de sodio o sulfato de magnesio es igual a la suma de % desgaste parcial<sup>4</sup>:

$$\% \text{ desgaste total} = \sum \% \text{ desgaste parcial}^4$$

Para el agregado fino:

Tabla 2. 26. Fracción de muestra para el agregado fino

FRACCIÓN DE MUESTRA PARA EL AGREGADO FINO					
Fracción	Número del Tamiz				Masa mínima de la muestra g
	Pasa		Retiene		
	Pulg	mm	Pulg	mm	
1	3/8	9.51	No. 4	4.76	100
2	No. 4	4.76	No.8	2.38	
3	No. 8	2.38	No. 16	1.19	
4	No. 16	1.19	No. 30	0.595	
5	No. 30	0.595	No. 30	0.297	

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C88-Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de sodio o sulfato de magnesio. West Conshohocken, Estados Unidos.

Se determina el porcentaje retenido parcial:

$$\% \text{ Retenido parcial} = \frac{\text{Masa retenida parcial}}{\text{Masa total de muestra}} \times 100$$

<sup>4</sup> ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C88-Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de sodio o sulfato de magnesio. West Conshohocken, Estados Unidos.

Porcentaje que pasa el tamiz más fino después del ensayo (este valor se calcula para cada fracción):

$$\% \text{ que pasa} = \frac{\text{Masa inicial} - \text{Masa retenida después del ensayo}}{\text{Masa inicial}} \times 100$$

Porcentaje de desgaste parcial:

$$\% \text{ desgaste parcial} = \frac{\% \text{ Retenido parcial} - \% \text{ que pasa}}{100}$$

El porcentaje de desgaste total del agregado a la acción de sulfato de sodio o sulfato de magnesio es igual a la suma de % desgaste parcial:

$$\% \text{ desgaste total} = \sum \% \text{ desgaste parcial}^5$$

---

<sup>5</sup> ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C88-Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de sodio o sulfato de magnesio. West Conshohocken, Estados Unidos.

### 2.7.1. Resultados

#### Porcentaje de desgaste del agregado fino a la acción de sulfatos de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 27. Porcentaje de desgaste del agregado fino a la acción de sulfatos de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

PORCENTAJE DE DESGASTE TOTAL DEL AGREGADO FINO							
Fracción	Masa total de la muestra	Masa retenida parcial	Masa inicial (g)	Masa retenida después	% que pasa	% Retenido parcial	% desgaste parcial
1	100	99,2	100	99,2	0,8	99,20	1
2	100	99,5	100	99,5	0,5	99,50	1
3	100	99,1	100	99,1	0,9	99,10	1
4	100	98,5	100	98,5	1,5	98,50	2
5	100	98	100	98	2	98,00	2
Observación	Porcentaje de desgaste total del agregado grueso						5,7
	En las especificaciones MOP 001-F-2002 Tabla 803-2,2. Indica que con sulfato de magnesio máximo debe existir un 18 % de pérdida al desgaste en 5 ciclos de inmersión que en nuestro caso estamos dentro de lo especificado.						

#### Porcentaje de desgaste del agregado grueso a la acción de sulfatos de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 28. Porcentaje de desgaste del agregado grueso a la acción de sulfatos de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

PORCENTAJE DE DESGASTE TOTAL DEL AGREGADO GRUESO							
Fracción	Masa total de la muestra (g)	Masa retenida parcial (g)	Masa inicial (g)	Masa retenida después del ensayo (g)	% que pasa	% Retenido parcial	% desgaste parcial
1	3000	2892	3000	2892	3,6	96,4	4
2	1500	1475	1500	1475	1,7	98,3	2
3	1000	986	1000	986	1,4	98,6	1
4	300	294	300	294	2	98	2
Observación	Porcentaje de desgaste total del agregado grueso						8,7
	En las especificaciones MOP 001-F-2002 Tabla 803-2,2. Indica que con sulfato de magnesio máximo debe existir un 18 % de pérdida al desgaste en 5 ciclos de inmersión que en nuestro caso estamos dentro de lo especificado.						

## 2.8. Equivalente de arena (ASTM D2419)

Este ensayo sirve para determinar la cantidad de polvo y arcilla que tiene el agregado fino que se va a utilizar en un proyecto y limitar la cantidad de este elemento.

Porcentaje de equivalente de arena:

$$\% \text{ Equivalente de arena} = \frac{B}{A} \times 100$$

Donde:

A: Lectura de arcilla

B: Lectura de arena<sup>6</sup>

### 2.8.1. Resultados

#### Equivalente de arena en el agregado fino de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 29. Contenido orgánico en el agregado de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

EQUIVALENTE DE ARENA DEL AGREGADO FINO				Especif.
Probeta	Lectura de arcilla (A)	Lectura de arena (B)	% Equivalente	
1	4,5	3,7	82,22	> 50 %
2	5	4,1	82,00	
3	4,8	3,9	81,25	
Porcentaje de equivalente de arena			81,82	
Observación	El porcentaje de equivalente de arena en la muestra es mayor al mínimo requerido en lo especificado por lo que este material puede ser utilizado en cualquier tipo de construcción.			

<sup>6</sup> ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM D2419-Equivalente de arena en suelos y agregado fino*. West Conshohocken, Estados Unidos.

## 2.9. Desgaste a la abrasión con la Máquina de los Ángeles (ASTM C131)

El ensayo de desgaste a la abrasión con la Máquina de los Ángeles ayuda a estimar el desgaste que sufre el agregado grueso en su resistencia y la fragmentación a la que está expuesto.

La cantidad de material a ensayarse y el número de esferas a utilizar dependen de la granulometría del agregado grueso de acuerdo con las Tablas 2.30 y 2.31.

Tabla 2. 30. Peso de agregado y número de esferas para agregado grueso hasta 1 ½"

MÉTODO		A	B	C	D
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz				
1 ½"	1"	1250±25			
1"	¾"	1250±25			
¾"	½"	1250±10	2500±10		
½"	⅜"	1250±10	2500±10		
⅜"	¼"			2500±10	
¼"	No. 4			2500±10	
No. 4	No. 8				5000±10
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
No. De esferas		12	11	8	6
No. de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación (min)		15	15	15	15

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C131-Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1 ½ pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles. West Conshohocken, Estados Unidos.

Tabla 2. 31. Peso de agregado y número de esferas para agregados gruesos de tamaños mayores a ¾"

MÉTODO		1	2	3
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)		
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz	2500±50 2500±50 5000±50	5000±50 5000±25	5000±25 5000±25
3"	2 1/2"			
2 1/2"	2"			
2"	1 1/2"			
1 1/2"	1"			
1"	3/4"			
PESO TOTAL		10000±100	10000±75	10000±50
No. De esferas		12	12	12
No. de revoluciones		1000	1000	1000
Tiempo de rotación (min)		30	30	30

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C131-Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1 1/2 pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles. West Conshohocken, Estados Unidos.

Porcentaje de desgaste del material:

$$\% \text{ de desgaste del material} = \frac{\text{Masa inicial} - \text{Masa Final}}{\text{Masa inicial}} \times 100^7$$

---

<sup>7</sup> ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM C131-Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1 1/2 pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles. West Conshohocken, Estados Unidos.

### 2.9.1. Resultados

#### Porcentaje de desgaste a la abrasión de Sub-base de La mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas):

Tabla 2. 32. Desgaste a la abrasión de la SUB-BASE de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

PORCENTAJE DE DESGASTE SUBBASE		
Masa inicial (g)	Masa final (g)	% de desgaste
5000	4244	15,12

#### Porcentaje de desgaste a la abrasión de Base de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 33. Desgaste a la abrasión de la BASE de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

PORCENTAJE DE DESGASTE BASE		
Masa inicial (g)	Masa final (g)	% de desgaste
5000	3825	23,5

### 2.10. Límites de Atterberg (ASTM D4318-84)

Para realizar este ensayo, utilizamos material fino, es decir aquel que pasa el tamiz No. 40 que nos permite conocer los límites del rango de humedad del material cuando se encuentra en estado plástico (Universidad de Chile, 2006).

Los límites se encuentran definidos por el contenido de humedad; el límite líquido (LI) se encuentra entre el límite semilíquido y límite plástico; el límite plástico (Lp) se encuentra entre el límite semisólido y límite plástico.



$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Masa del agua}}{\text{Masa del suelo secado al horno}} \times 100$$

$$Ll = Wn \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Donde:

Ll: Límite líquido

Wn: Contenido de agua para el punto realizado que requirió N

golpes para cerrar la ranura

N: Número de golpes para que se cierre la ranura

K: Factor de corrección Tabla 2.34

Tabla 2. 34. Factores para la obtención del límite líquido a partir de la humedad y número de golpes que causan el cierre de las ranuras

Número de Golpes N	Factor para Límite Líquido K
22	0.985
23	0.99
24	0.995
25	1
26	1.005
27	1.009
28	1.014

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. (2005). ASTM D4318-05-Los métodos de estándar de ensayo para Límite líquido, Límite plástico, Índice de plasticidad de los suelos. West Conshohocken, Estados Unidos.

$$IP = Ll - Lp$$

Donde:

$I_p$ : Índice de plasticidad

$Ll$ : Límite líquido

$Lp$ : Límite plástico<sup>8</sup>

### 2.10.3.1. Resultados

#### Contenido de humedad de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 35. Contenido de humedad de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Masa del agua g	Masa del suelo secado al horno g	Contenido de humedad
12,57	52,31	24,03
13,79	54,57	25,27
CONTENIDO DE HUMEDAD		24,65

---

<sup>8</sup> ASTM INTERNATIONAL. (2005). ASTM D4318-05-Los métodos de estándar de ensayo para Límite líquido, Límite plástico, Índice de plasticidad de los suelos. West Conshohocken, Estados Unidos.

### Límites de Atterberg de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 36. Límites de Atterberg de SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

LÍMITES DE ATTERBERG		
LI	Lp	Ip
NP	NP	NP
<b>Observación</b>	El agregado contiene un gran contenido de arena, es por eso que no tiene plasticidad. NP: No plástico	

### Contenido de humedad de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 37. Contenido de humedad de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Masa del agua g	Masa del suelo secado al horno g	Contenido de humedad
6,56	31,1	21,09
7,75	35,91	21,58
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		<b>21,34</b>

### Límites de Atterberg de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 38. Límites de Atterberg de SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

LÍMITES DE ATTERBERG		
LI	Lp	Ip
NP	NP	NP
<b>Observación</b>	El agregado contiene un gran contenido de arena, es por eso que no tiene plasticidad. NP: No plástico	

### Contenido de humedad de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 39. Contenido de humedad de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Masa del agua g	Masa del suelo secado al horno g	Contenido de humedad
8,36	69,39	12,05
7,51	54,46	13,79
CONTENIDO DE HUMEDAD		12,92

### Límites de Atterberg de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 40. Límites de Atterberg de SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

LÍMITES DE ATTERBERG		
LI	Lp	Ip
NP	NP	NP
Observación	El agregado contiene un gran contenido de arena, es por eso que no tiene plasticidad. NP: No plástico	

### Contenido de humedad de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 41. Contenido de humedad de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Masa del agua g	Masa del suelo secado al horno g	Contenido de humedad
10,01	47,8	20,94
10,35	50,07	20,67
CONTENIDO DE HUMEDAD		20,81

### Límites de Atterberg de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 42. Límites de Atterberg de BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

LÍMITES DE ATTERBERG		
LI	Lp	Ip
NP	NP	NP
<b>Observación</b>	El agregado contiene un gran contenido de arena, es por eso que no tiene plasticidad. NP: No plástico	

### Contenido de humedad de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 43. Contenido de humedad de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Masa del agua g	Masa del suelo secado al horno g	Contenido de humedad
8,42	61,87	13,61
8,72	64,44	13,53
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		<b>13,57</b>

### Límites de Atterberg de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 44. Límites de Atterberg de BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

LÍMITES DE ATTERBERG		
LI	Lp	Ip
NP	NP	NP
<b>Observación</b>	El agregado contiene un gran contenido de arena, es por eso que no tiene plasticidad. NP: No plástico	

### Contenido de humedad de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 45. Contenido de humedad de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Masa del agua g	Masa del suelo secado al horno g	Contenido de humedad
9,6	61,49	15,61
10,79	68,69	15,71
CONTENIDO DE HUMEDAD		15,66

### Límites de Atterberg de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 46. Límites de Atterberg de BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

LÍMITES DE ATTERBERG		
LI	Lp	Ip
NP	NP	NP
Observación	El agregado contiene un gran contenido de arena, es por eso que no tiene plasticidad. NP: No plástico	

### Contenido de humedad de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 47. Contenido de humedad de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Masa del agua g	Masa del suelo secado al horno g	Contenido de humedad
0,5	3,57	14,01
1,01	3,93	25,70
CONTENIDO DE HUMEDAD		19,85

## Límites de Atterberg de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 48. Límites de Atterberg de BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

LÍMITES DE ATTERBERG		
LI	Lp	Ip
NP	NP	NP
<b>Observación</b>	El agregado contiene un gran contenido de arena, es por eso que no tiene plasticidad. NP: No plástico	

## 2.11. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 2. 49. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO											
ENSAYO	TIPO	TAMIZ #	% PASA	CLASIFICACIÓN SUCS	AASHTO	VALOR	UNIDAD	ESPECIF.	OBSERVACIÓN	NORMA	OBJETIVO DEL ENSAYO
GRANULOMETRÍA	SUBBASE CLASE 1	1 1/2	100	GP - GW	A-1-a			100	CUMPLE	ASTM C33 NEVI-12-MTOP	Tiene como finalidad conocer los diferentes tamaños y distribución de las partículas que existen en el material el cual se va a ensayar. Conocer si el tamaño del agregado cumple con las especificaciones para las diferentes clases de base y subbase
		No. 4	39,28					30 - 70			
		No. 200	22,26					10 - 35 0 - 15			
	SUBBASE CLASE 2	2	100	GP - GW	A-1-a			100	CUMPLE		
		1 1/2	94,87					70 - 100			
		No. 4	36,98					30 - 70			
	SUBBASE CLASE 3	No. 40	16,56	GP - GW	A-1-a			15 - 40	CUMPLE		
		No. 200	5,64					0 - 20			
		3	100					100			
	BASE CLASE 1 TIPO A	No. 4	47,16	GP - GW	A-1-a			30 - 70	CUMPLE		
		No. 200	11,64					0 - 20			
		2	100					100			
1 1/2		91,83	70 - 100								
1		78,31	55 - 85								
BASE CLASE 2	3/4	72,55	GP - GW	A-1-a			50 - 80	CUMPLE			
	3/8	56,31					35 - 70				
	No. 4	38,04					25 - 50				
	No. 10	27,73					20 - 40				
	No. 40	17,10					10 - 25				
BASE CLASE 3	No. 200	12,4	GP - GW	A-1-a			2 - 12	CUMPLE			
	1	100					100				
	3/4	86,46					70 - 100				
	3/8	64,99					50 - 80				
	No. 4	45,69					35 - 65				
BASE CLASE 4	No. 10	32,52	GP - GW	A-1-a			25 - 30	CUMPLE			
	No. 40	17,84					15 - 30				
	No. 200	6,43					3 - 15				
	3/4	100					100				
	No. 4	52,02					45 - 80				
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN	AGREGADO FINO (GE)					2,80	Sin Unidad		ASTM C128 NEVI-12-MTOP	La gravedad específica es necesaria para determinar la relación de vacíos en un suelo y el volumen que ocupa el material en una mezcla. La absorción es necesaria para determinar el porcentaje de absorción de agua de un material	
	AGREGADO FINO (ABS)					2,50	%		ASTM C127 NEVI-12-MTOP		
	AGREGADO GRUESO (GE)					2,63	Sin Unidad		ASTM C127 NEVI-12-MTOP		
CONTENIDO ORGÁNICO	AGREGADO FINO					COLOR 2	Sin Unidad	MÁX. COLOR 3	CUMPLE	ASTM C40-99 NEVI-12-MTOP	Sirve para identificar si existen componentes perjudiciales en arenas naturales
TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS FRIABLES	AGREGADO FINO					0,22	%	MÁX. 1%	CUMPLE	ASTM C142-97 NEVI-12-MTOP	Conocer la cantidad de sustancias nocivas y perjudiciales que tiene el agregado en terrones de arcillas y partículas friables
DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A SULFATOS	AGREGADO FINO					5,7	% desgaste	MÁX. 18%	CUMPLE	ASTM C88 NEVI-12-MTOP	Conocer el desgaste de los agregados a la acción de sulfatos al estar en contacto con el suelo y con el agua
	AGREGADO GRUESO					8,7	% desgaste		CUMPLE	ASTM C88 NEVI-12-MTOP	
EQUIVALENTE DE ARENA	AGREGADO FINO					81,82	%	> 50%	CUMPLE	ASTM D2419 NEVI-12-MTOP	Sirve para determinar la cantidad de polvo y arcilla en el agregado y limitar la cantidad de este elemento
DURABILIDAD DEL AGREGADO A LA ABRASIÓN	SUBBASE					15,12	% desgaste	< 50%	CUMPLE	ASTM C131 NEVI-12-MTOP	Ayuda a estimar el desgaste que sufre el agregado grueso en su resistencia y la fragmentación a la que está expuesto
	BASE					23,5	% desgaste	< 40%	CUMPLE		
CONTENIDO DE HUMEDAD	SUBBASE CLASE 1					24,65	%			ASTM D4318-84 NEVI-12-MTOP	Determinar el contenido de humedad del suelo
	SUBBASE CLASE 2					21,34	%				
	SUBBASE CLASE 3					12,92	%				
	BASE CLASE 1 TIPO A					20,81	%				
	BASE CLASE 2					13,57	%				
LÍMITES DE ATTERBERG	BASE CLASE 3					15,66	%			ASTM D4318-84 NEVI-12-MTOP	Hallar el contenido de agua entre los límite líquido, plástico y semisólido
	BASE CLASE 4					19,85	%				



### **CAPÍTULO 3. CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)**

El C.B.R. (California Bearing Ratio) fue propuesto en el año de 1929 por el Ingeniero Stanton y el Ingeniero Porter del departamento de carreteras de California, siendo un método muy utilizado para determinar las características del suelo (Salvador & Salvador, 2001).

Este método tiene en cuenta el control de la humedad y densidad en los agregados que dan una mayor resistencia al esfuerzo cortante para la fabricación de pavimentos flexibles (Camacho, 2013).

Este método de ensayo C.B.R. en laboratorio nos da la posibilidad de evaluar la resistencia potencial al esfuerzo cortante de la base, sub-base, sub-rasante para el uso en las vías cuando sus condiciones y características van a alterarse en el momento de la construcción.

Las etapas para realizar el ensayo son las siguientes:

- Preparación de la muestra
- Compactación
- Curado
- Penetración
- Procesamiento de la información

El porcentaje expresado relaciona la carga unitaria que se necesita para introducir un pistón dentro del suelo, con la carga unitaria necesaria para introducir el pistón a la misma profundidad en una muestra de piedra partida.

Tabla 3. 1. Valores tipo para piedra partida (C.B.R.)

<b>VALORES TIPO PARA PIEDRA PARTIDA</b>	
<b>Penetración plg</b>	<b>Carga Unitaria lbs/plg<sup>2</sup></b>
0,1	1
0,2	1,5
0,3	1,9
0,4	2,3
0,5	2,6

Fuente: Salvador, P., & Salvador, J. (2001). Manual Visualizado de Ensayos para Pavimentos. Quito, Ecuador.

$$C.B.R. = \frac{Carga\ de\ ensayo \times 100}{Carga\ unitaria\ tipo} \times 100$$

Para el diseño se usa el valor que se determina para la penetración de 0.1 o 0.2 pulgadas, y se toma el más grande de estos dos.

En la mayoría de los casos el número C.B.R. es obtenido en la relación de carga para la penetración de 0.1", pero si el valor resultante en la penetración de 0.2" es mayor, se procede a realizar nuevamente el ensayo. Si en el nuevo ensayo el valor obtenido para la penetración de 0.2" es mayor, se toma dicho valor como número C.B.R. (Camacho, 2013)

Para simular condiciones reales que van a suceder durante y después de la construcción de la carretera, se realiza el procedimiento denominado Proctor Modificado, el cual sirve para obtener la humedad óptima del suelo con el fin de tener la máxima densidad, y el suelo será compactado al 95% de esta. (Salvador & Salvador, 2001).

### ***3.1. Proctor Modificado (ASTM D1557)***

Este ensayo se realiza para obtener la densidad máxima y humedad óptima del suelo.

### 3.1.1. Resultados

#### Proctor Modificado SUB-BASE CLASE de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 2. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad

PROCTOR MODIFICADO SUBBASE CLASE 1								
No. De Capas		Golpes por Capa		Peso Martillo (lb)		Altura caída (")		Peso inicial (g)
5		56		10		18		6000
Relación Densidad seca - Humedad								
Muestra		1		2		3		4
Agua aumentada	cc	0		240		480		720
	%	0		4		8		12
Peso suelo húmedo + molde		9178		10743		10986		10175
Peso del molde		5990		5990		5990		5990
Peso suelo húmedo		3188		4753		4996		4185
Volumen del molde		2030		2312		2312		2312
Densidad húmeda		1570		2056		2161		1810
Tarro No.	D-11	D-12	M-3	SI-2	SI-3	D-10	3"-2	LDMS
Tarro+ suelo húmedo	134,70	145,90	198,30	195,10	126,70	124,30	189,90	199,20
Tarro + suelo seco	130,56	141,45	194,00	190,78	123,23	114,09	170,11	183,98
Peso de agua	4,14	4,45	4,30	4,32	3,47	10,21	19,79	15,22
Peso del tarro	19,92	25,00	139,20	132,50	92,10	27,80	44,40	83,60
Peso del suelo seco	110,64	116,45	54,80	58,28	31,13	86,29	125,71	100,38
Contenido de agua (%)	3,74	3,82	7,85	7,41	11,15	11,83	15,74	15,16
Contenido de agua promedio (%)	3,78		7,63		11,49		15,45	
Densidad seca (g/cm³)	1513		1910		1938		1568	

Figura 3. 1. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad

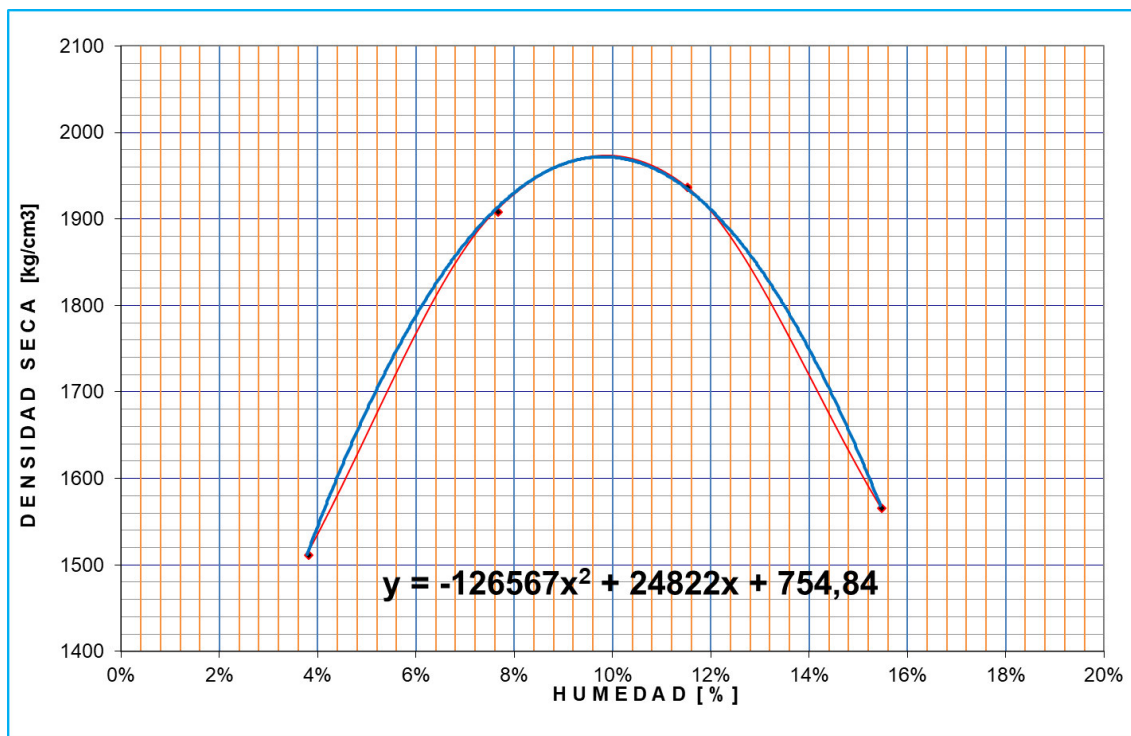


Tabla 3. 3. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima - Humedad óptima

HUMEDAD ÓPTIMA DE SUBBASE CLASE 1			
DENSIDAD MÁXIMA (kg/cm³)	1972	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	9,81

## Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 4. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad

PROCTOR MODIFICADO SUBBASE CLASE 2									
No. De Capas		Golpes por Capa		Peso Martillo (lb)		Altura caída (")		Peso inicial (g)	
5		56		10		18		6000	
Relación Densidad seca - Humedad									
Muestra		1		2		3		4	
Agua aumentada	cc	0		180		360		540	
	%	0		3		6		9	
Peso suelo húmedo + molde		9566		10945		10877		9980	
Peso del molde		5990		5990		5990		5990	
Peso suelo húmedo		3576		4955		4887		3990	
Volumen del molde		2030		2312		2312		2312	
Densidad húmeda		1762		2143		2114		1726	
Tarro No.		M-3	LDMS	SI-2	D-12	3"-2	D-11	SI-3	D-10
Tarro+ suelo húmedo		256,70	138,20	209,10	198,40	177,20	190,50	211,40	213,90
Tarro + suelo seco		250,90	135,00	203,02	184,43	163,29	172,43	196,17	190,66
Peso de agua		5,80	3,20	6,08	13,97	13,91	18,07	15,23	23,24
Peso del tarro		139,20	83,60	132,50	25,00	44,40	19,92	92,10	27,80
Peso del suelo seco		111,70	51,40	70,52	159,43	118,89	152,51	104,07	162,86
Contenido de agua (%)		5,19	6,23	8,62	8,76	11,70	11,85	14,63	14,27
Contenido de agua promedio (%)		5,71		8,69		11,78		14,45	
Densidad seca (g/cm³)		1513		1910		1938		1568	

Figura 3. 2. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad

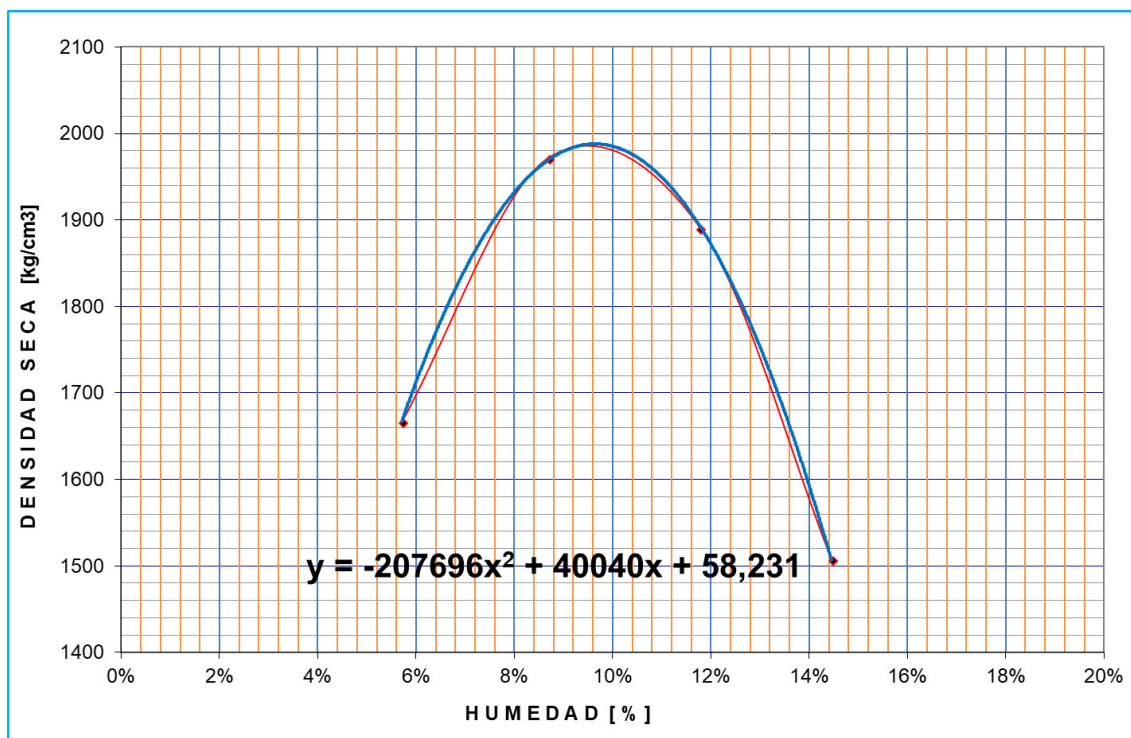


Tabla 3. 5. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima – Humedad óptima

HUMEDAD ÓPTIMA DE SUBBASE CLASE 2			
DENSIDAD MÁXIMA (kg/cm³)	1988	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	9,64

## Proctor Modificado SUB-BASE CLASE de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 6. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad

PROCTOR MODIFICADO SUBBASE CLASE 3									
No. De Capas		Golpes por Capa		Peso Martillo (lb)		Altura caída (")		Peso inicial (g)	
5		56		10		18		6000	
Relación Densidad seca - Humedad									
Muestra		1		2		3		4	
Agua aumentada	cc	0		300		600		900	
	%	0		5		10		15	
Peso suelo húmedo + molde		9078		10673		10882		9780	
Peso del molde		5990		5990		5990		5990	
Peso suelo húmedo		3088		4683		4892		3790	
Volumen del molde		2030		2312		2312		2312	
Densidad húmeda		1521		2025		2116		1639	
Tarro No.		SI-2	D-12	MB	3"-2	D-10	D-11	SI-3	LDMS
Tarro+ suelo húmedo		220,80	166,60	259,30	155,50	118,20	166,40	233,30	190,90
Tarro + suelo seco		217,89	161,32	249,94	147,00	169,08	148,76	211,12	173,76
Peso de agua		2,91	5,28	9,36	8,50	19,12	17,64	22,18	17,14
Peso del tarro		132,50	25,00	138,50	44,40	27,80	19,92	92,10	83,60
Peso del suelo seco		85,39	136,32	111,44	102,60	141,28	128,84	119,02	90,16
Contenido de agua (%)		3,41	3,87	8,40	8,28	13,53	13,69	18,64	19,01
Contenido de agua promedio (%)		3,64		8,34		13,61		18,83	
Densidad seca (g/cm³)		1468		1869		1862		1379	



Figura 3. 3. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad

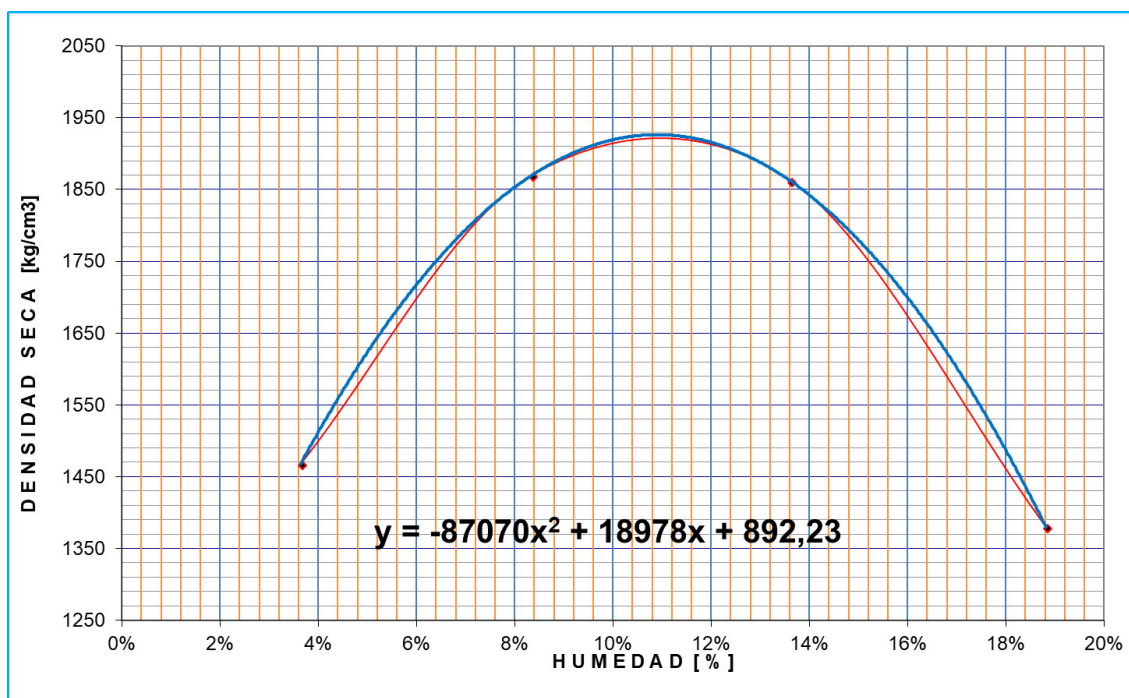


Tabla 3. 7. Proctor Modificado SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima – Humedad óptima

HUMEDAD ÓPTIMA DE SUBBASE CLASE 3			
DENSIDAD MÁXIMA (kg/cm³)	1926	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	10,9

## Proctor Modificado BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 8. Proctor Modificado BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad

PROCTOR MODIFICADO BASE CLASE 1 TIPO A									
No. De Capas		Golpes por Capa		Peso Martillo (lb)		Altura caída (")		Peso inicial (g)	
5		56		10		18		6000	
Relación Densidad seca - Humedad									
Muestra		1		2		3		4	
Agua aumentad	cc	180		360		540		720	
	%	3		6		9		12	
Peso suelo húmedo + molde		9743		11211		11423		10098	
Peso del molde		6457		6457		6457		6457	
Peso suelo húmedo		3286		4754		4966		3641	
Volumen del molde		2080		2080		2080		2080	
Densidad húmeda		1580		2286		2388		1751	
Tarro No.		ML-8	ML-1	ML-15	ML-13	ML-22	ML-32	ML-6	ML-11
Tarro+ suelo húmedo		227,46	77,60	88,44	88,36	45,21	45,99	84,34	91,91
Tarro + suelo seco		223,58	74,78	83,82	83,36	41,78	42,64	77,56	84,12
Peso de agua		3,88	2,82	4,62	5,00	3,43	3,35	6,78	7,79
Peso del tarro		150,80	22,84	28,34	25,76	12,06	12,06	31,68	30,31
Peso del suelo seco		72,78	51,94	55,48	57,60	29,72	30,58	45,88	53,81
Contenido de agua (%)		5,33	5,43	8,33	8,68	11,54	10,95	14,78	14,48
Contenido de agua promedio (%)		5,38		8,51		11,25		14,63	
Densidad seca (g/cm³)		1499		2107		2146		1527	

Figura 3. 4. Proctor Modificado BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad

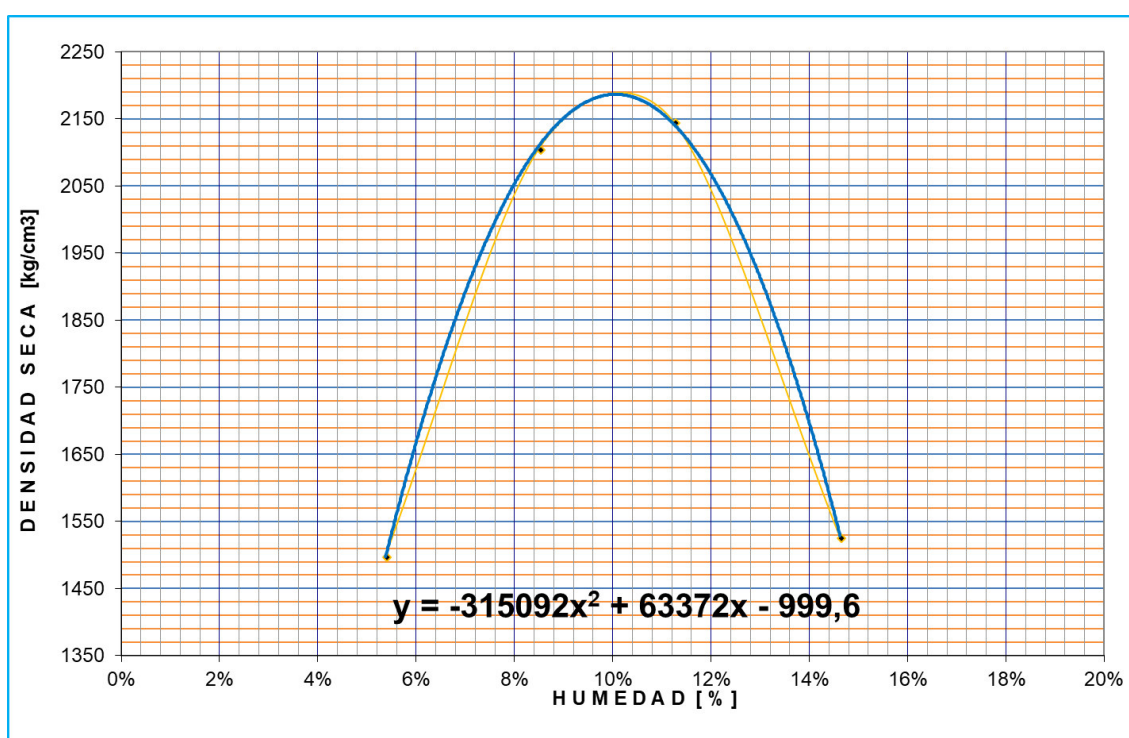


Tabla 3. 9. Proctor modificado BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima – Humedad óptima

HUMEDAD ÓPTIMA DE BASE CLASE 1 TIPO A			
DENSIDAD MÁXIMA (kg/cm³)	2187	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	10,06

## Proctor Modificado BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 10. Proctor Modificado BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad

PROCTOR MODIFICADO BASE CLASE 2								
No. De Capas		Golpes por Capa		Peso Martillo (lb)		Altura caída (")		Peso inicial (g)
5		56		10		18		6000
Relación Densidad seca - Humedad								
Muestra		1		2		3		4
Agua aumentad	cc	0		300		600		900
	%	0		5		10		15
Peso suelo húmedo + molde		10155		11345		11298		10165
Peso del molde		6457		6457		6457		6457
Peso suelo húmedo		3698		4888		4841		3708
Volumen del molde		2133		2133		2133		2133
Densidad húmeda		1734		2292		2270		1738
Tarro No.	AB	CD	EF	AB3	AB15	SD	ML	MV
Tarro+ suelo húmedo	99,56	102,11	99,45	108,23	112,34	115,92	112,09	122,07
Tarro + suelo seco	97,43	99,78	93,24	101,23	102,98	105,65	99,46	107,69
Peso de agua	2,13	2,33	6,21	7,00	9,36	10,27	12,63	14,38
Peso del tarro	29,12	21,32	19,98	20,08	34,01	32,13	29,76	30,21
Peso del suelo seco	68,31	78,46	73,26	81,15	68,97	73,52	69,70	77,48
Contenido de agua (%)	3,12	2,97	8,48	8,63	13,57	13,97	18,12	18,56
Contenido de agua promedio (%)	3,05		8,56		13,77		18,34	
Densidad seca (g/cm³)	1682		2111		1995		1469	

Figura 3. 5. Proctor Modificado BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad

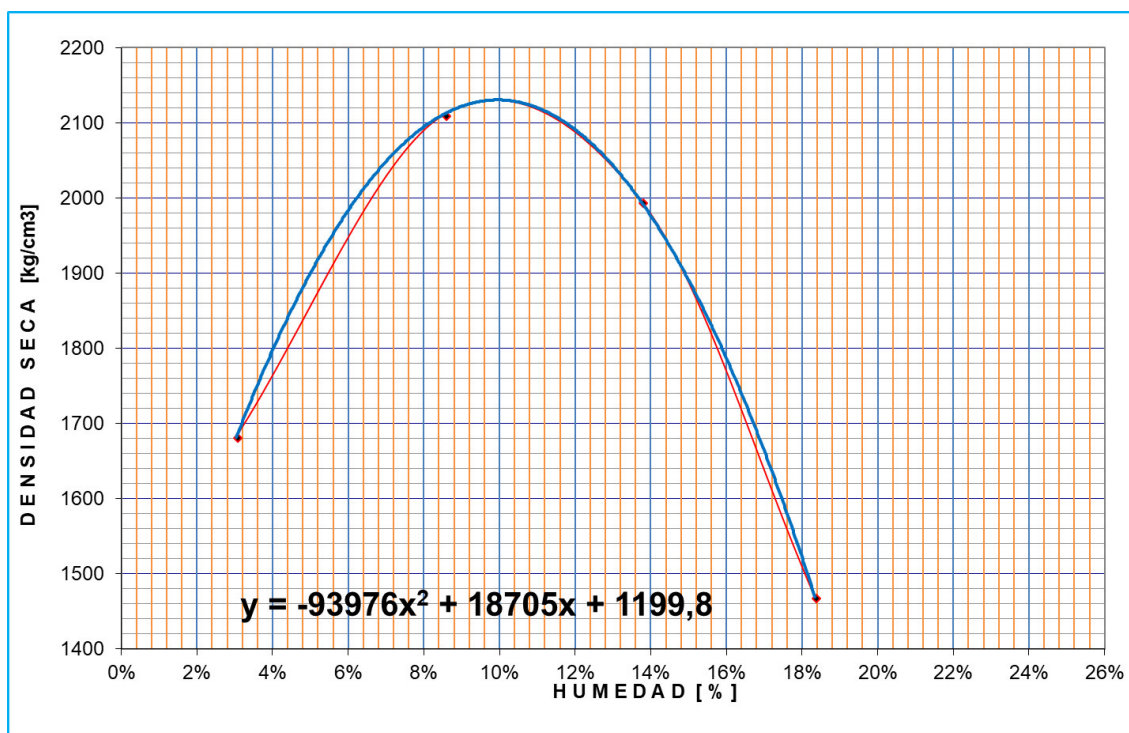


Tabla 3. 11. Proctor Modificado BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima – Humedad óptima

HUMEDAD ÓPTIMA DE BASE CLASE 2			
DENSIDAD MÁXIMA (kg/cm³)	2131	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	9,95

## Proctor Modificado BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 12. Proctor Modificado BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad

PROCTOR MODIFICADO BASE CLASE 3									
No. De Capas		Golpes por Capa		Peso Martillo (lb)		Altura caída (")		Peso inicial (g)	
5		56		10		18		6000	
Relación Densidad seca - Humedad									
Muestra		1		2		3		4	
Agua aumentad	cc	0		360		720		1080	
	%	0		6		12		18	
Peso suelo húmedo + molde		10233		11289		11132		9892	
Peso del molde		6457		6457		6457		6457	
Peso suelo húmedo		3776		4832		4675		3435	
Volumen del molde		2133		2133		2133		2133	
Densidad húmeda		1770		2265		2192		1610	
Tarro No.		T11	DS-7	A5	T7	ML-3	AB	T15	T8
Tarro+ suelo húmedo		109,61	99,83	98,97	112,65	99,86	110,43	114,78	120,21
Tarro + suelo seco		107,07	97,54	92,23	106,00	89,05	99,86	100,43	105,23
Peso de agua		2,54	2,29	6,74	6,65	10,81	10,57	14,35	14,98
Peso del tarro		30,43	21,80	20,50	32,73	19,30	29,12	31,22	31,18
Peso del suelo seco		76,64	75,74	71,73	73,27	69,75	10,74	69,21	74,05
Contenido de agua (%)		3,31	3,02	9,40	9,08	15,50	14,94	20,73	20,23
Contenido de agua promedio (%)		3,17		9,24		15,22		20,48	
Densidad seca (g/cm³)		1716		2074		1902		1337	

Figura 3. 6. Proctor Modificado BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad

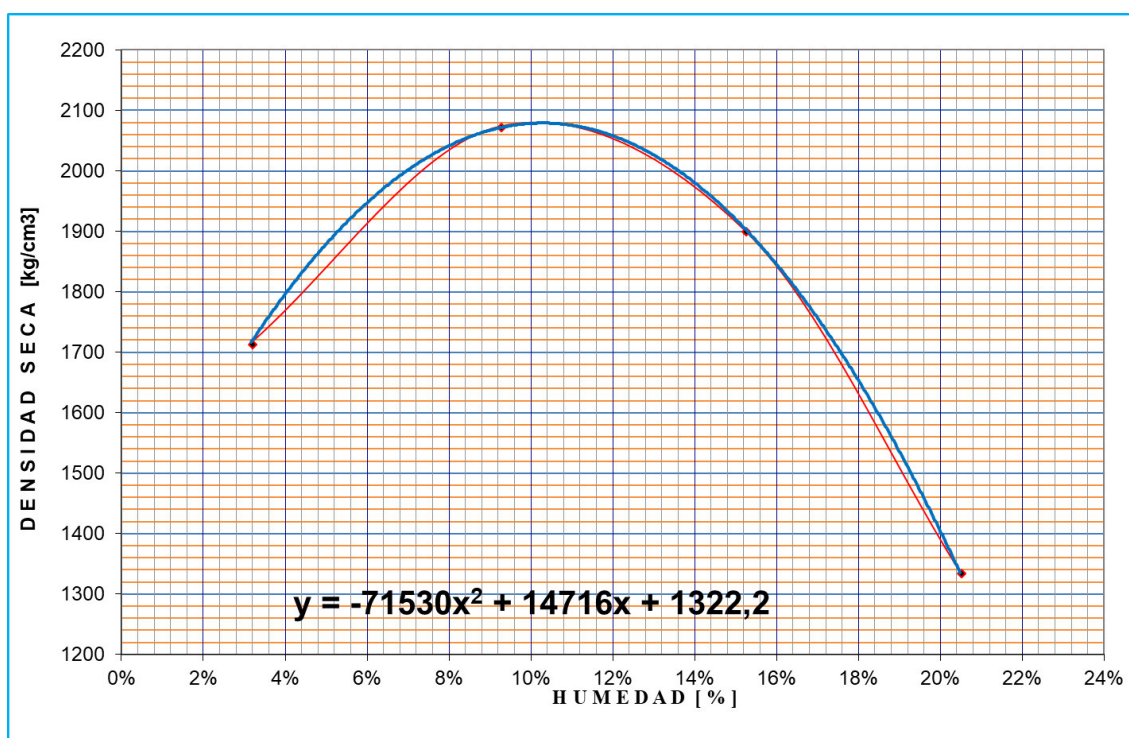


Tabla 3. 13. Proctor Modificado BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs Humedad óptima

HUMEDAD ÓPTIMA DE BASE CLASE 3			
DENSIDAD MÁXIMA (kg/cm³)	2079	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	10,29

## Proctor Modificado BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 14. Proctor Modificado BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Relación densidad seca – Humedad

PROCTOR MODIFICADO BASE CLASE 4									
No. De Capas		Golpes por Capa		Peso Martillo (lb)		Altura caída (")		Peso inicial (g)	
5		56		10		18		6000	
Relación Densidad seca - Humedad									
Muestra		1		2		3		4	
Agua aumentad	cc	0		240		480		720	
	%	0		4		8		12	
Peso suelo húmedo + molde		8942		10894		11145		9986	
Peso del molde		5990		5990		5990		5990	
Peso suelo húmedo		2952		4904		5155		3996	
Volumen del molde		2030		2312		2312		2312	
Densidad húmeda		1454		2121		2229		1728	
Tarro No.		SI-2	D-10	LDMS	3"-2	SI-3	D-12	M-3	D-11
Tarro+ suelo húmedo		254,10	140,80	212,60	170,30	234,10	153,90	266,80	144,40
Tarro + suelo seco		250,14	136,89	203,43	161,56	219,71	141,00	249,88	127,79
Peso de agua		3,96	3,91	9,17	8,74	14,39	12,90	16,92	16,61
Peso del tarro		132,50	27,80	83,60	44,40	92,10	25,00	139,20	19,92
Peso del suelo seco		117,64	109,09	119,83	117,16	127,61	116,00	110,68	107,87
Contenido de agua (%)		3,37	3,58	7,65	7,46	11,28	11,12	15,29	15,40
Contenido de agua promedio (%)		3,48		7,56		11,20		15,35	
Densidad seca (g/cm³)		1405		1972		2005		1498	



Figura 3. 7. Proctor Modificado BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad seca vs Humedad

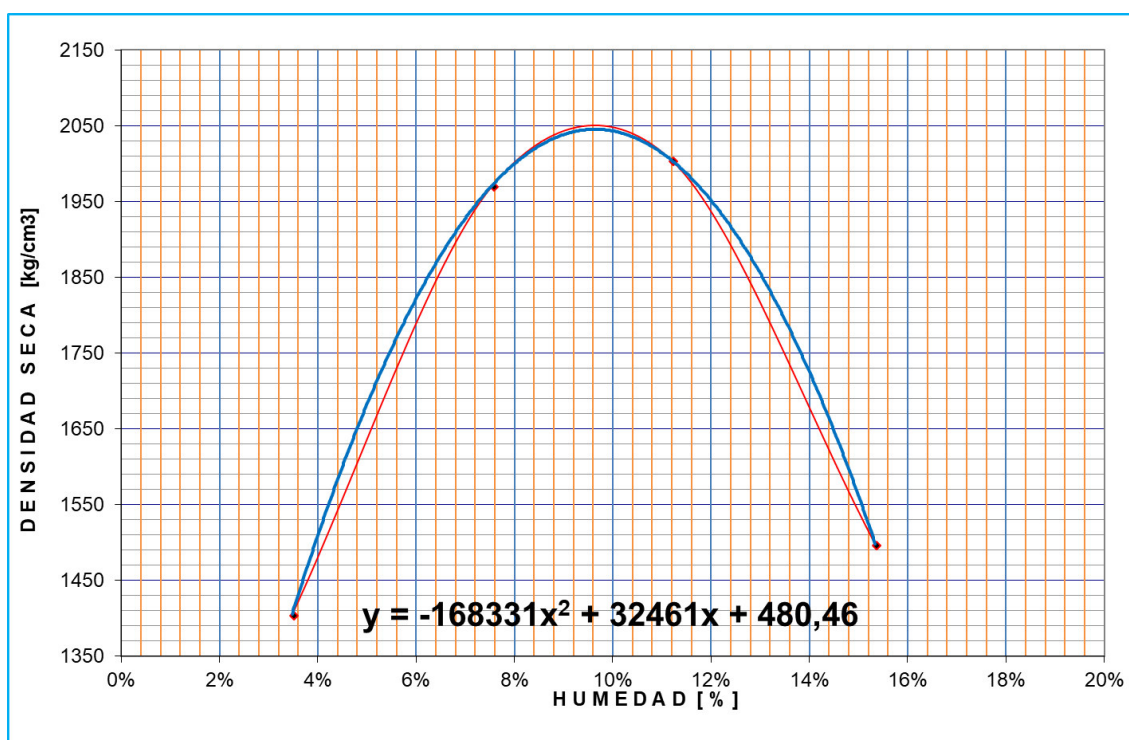


Tabla 3. 15. Proctor Modificado BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima – Humedad óptima

HUMEDAD ÓPTIMA DE BASE CLASE 4			
DENSIDAD MÁXIMA (kg/cm³)	2045	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	9,64

### **3.2. Ensayo C.B.R. de laboratorio (ASTM D1883)**

#### **3.2.3. Corrección del C.B.R. para una densidad del 95%**

Para determinar el C.B.R. corregido de suelos sin hinchamiento y baja plasticidad, como se ha visto en las condiciones de ensayo descritas anteriormente, se necesita en primer lugar el C.B.R. de tres muestras compactadas con diferentes densidades. La relación entre la densidad y el C.B.R. para cada una de las tres muestras se dibuja y luego se grafica una línea horizontal que corresponda a la densidad igual al 95% de la máxima obtenida.

La intersección de esta línea con la curva de C.B.R. – densidades, determinará el C.B.R. final para el 95% de la densidad AASHTO MODIFICADO. Este C.B.R. es el que se considera tiene la muestra en estudio<sup>9</sup>.

Según el porcentaje de C.B.R. obtenido, se puede utilizar el material como base o sub-base como indica la Tabla 3.16.

---

<sup>9</sup> ASTM INTERNATIONAL. (2006). ASTM D1883-Standard Test Method for California Bearing Ratio (C.B.R.) of Laboratory-Compacted Soils. West Conshohocken, Estados Unidos.

<sup>9</sup> Yáñez C, G. (2018). Guía Laboratorio de Pavimentos 2018. Quito, Ecuador.

Tabla 3. 16. Clasificación cualitativa y uso del suelo según el valor de C.B.R.

C.B.R	Clasificación cualitativa	Uso
2 - 5	Muy mala	SUBRASANTE
5 - 8	Mala	SUBRASANTE
8 - 20	Regular - Buena	SUBRASANTE
20 - 30	Excelente	SUBRASANTE
30 - 60	Buena	SUBBASE
60 - 80	Buena	BASE
80 - 100	Excelente	BASE

Fuente: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (2013). *Determinación de la capacidad de soporte C.B.R. del suelo*. Valparaíso, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Según la normativa del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) la sub-base deberá tener un valor de C.B.R. mayor al 30% y un C.B.R. para base mayor al 80%, (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

### 3.2.3.1. Resultados

## C.B.R. SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 17. C.B.R. SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) SUBBASE CLASE 1												
Molde	Molde No. D-11				Molde No. D-9				Molde No. CM-3			
No. De Capas	5				5				5			
No. De golpes por capa	56				25				11			
CONDICIONES DE LA MUESTRA	Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada	
Peso muestra húmeda + molde	12745		13298		11243		11963		10739		11498	
Peso del molde	7670		7670		6998		6998		7120		7120	
Peso muestra húmeda	5075		5628		4245		4965		3619		4378	
Volumen del molde	2323		2323		2286		2286		2288		2288	
Densidad húmeda	2,185		2,423		1,875		2,172		1,582		1,913	
Densidad seca	1997		2014		1698		1705		1446		1467	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente No.	23	J-9	ML-3	M-3	ML-14	M-3	23	ML-14	ML-15	ML-3	J-9	ML-15
Peso muestra húmeda + recipiente	81,15	85,64	97,7	98,06	95,13	93,13	96,99	107,85	103,08	98,23	107,35	106,17
Peso muestra seca + recipiente	76,00	80,09	84,42	84,79	88,69	86,68	80,54	88,71	96,00	91,43	87,56	85,79
Peso Agua	5,15	5,55	13,28	13,27	6,44	6,45	16,45	19,14	7,08	6,8	19,79	20,38
Peso Recipiente	20,12	22,12	19,8	18,55	19,40	18,55	20,12	19,40	19,2	19,8	22,12	19,2
Peso muestra seca + recipiente	55,88	57,97	64,62	66,24	69,29	68,13	60,42	69,31	76,8	71,63	65,44	66,59
Contenido de humedad (%)	9,22	9,57	20,55	20,03	9,29	9,47	27,23	27,62	9,22	9,49	30,24	30,61
Contenido promedio de humedad	9,40		20,29		9,38		27,43		9,36		30,43	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA												
Molde No.					Molde No. D-11		Molde No. D-9		Molde No. CM-3			
Peso muestra húmeda + Molde después de saturación					13298		11963		11498			
Peso muestra húmeda + Molde antes de saturación					12745		11243		10739			
Peso agua absorbida					553		720		759			
Porcentaje de agua absorbida					10,90		16,96		20,97			
DATOS DE ESPONJAMIENTO												
Fecha	Tiempo en días	Molde No. D-11			Molde No. D-9			Molde No. CM-3				
		Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%		
23/5/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
24/5/2018	1	1	0,001	0,021993	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,043985		
25/5/2018	2	1	0,001	0,021993	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,043985		
26/5/2018	3	1	0,001	0,021993	3	0,003	0,065978	4	0,004	0,08797		
27/5/2018	4	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	4	0,004	0,08797		
28/5/2018	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	4	0,004	0,08797		
DATOS DE PENETRACIÓN												
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg²	Molde No. D-11			Molde No. D-9			Molde No. CM-3				
		Carga de ensayo Dial	Carga de ensayo lb/pulg²	C.B.R.	Carga de ensayo Dial	Carga de ensayo lb/pulg²	C.B.R.	Carga de ensayo Dial	Carga de ensayo lb/pulg²	C.B.R.		
0,025	1,0	212	218,36	97,25	154	158,62	70,36	102	105,06	46,57		
0,050		434	447,02		346	356,38		165	169,95			
0,075		645	664,35		552	568,56		288	296,64			
0,100		915	942,45		654	673,62		423	435,69			
0,150		1079	1111,37		761	783,83		477	491,31			
0,200	1,5	1139	1173,17	80,21	867	893,01	61,53	590	607,7	42,51		
0,250		1288	1326,64		897	923,91		614	632,42			
0,300	1,9	1324	1363,72		934	962,02		645	664,35			
0,400		1345	1385,35		951	979,53		669	689,07			
0,500		1378	1419,34		977	1006,31		723	744,69			

Figura 3. 8. C.B.R. SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración

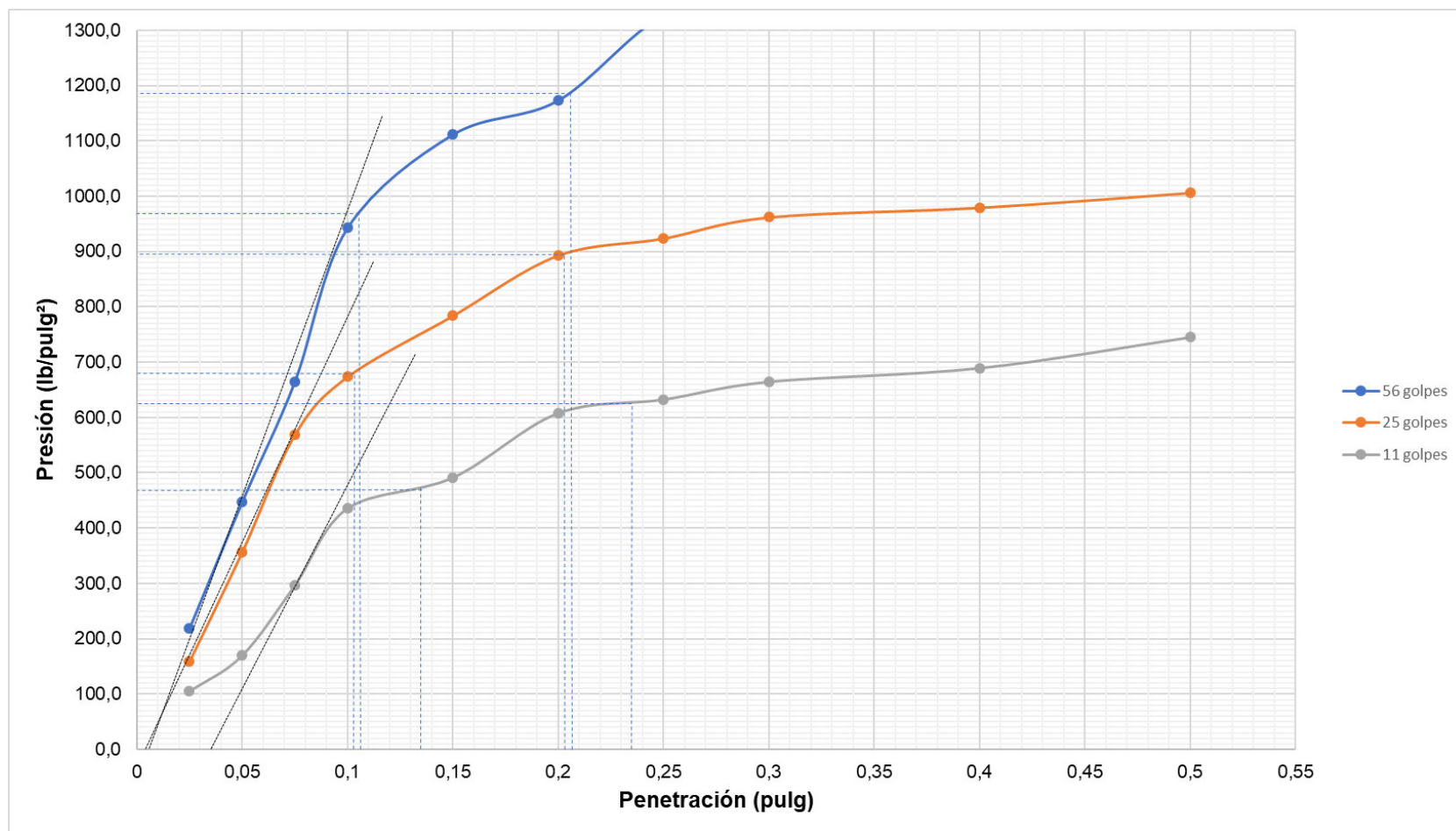


Tabla 3. 18. C.B.R. SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos de penetración (Corrección)

DATOS DE PENETRACIÓN (CORRECCIÓN)										
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg²	Molde No. D-11			Molde No. D-9			Molde No. CM-3		
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.
		lb/pulg²	lb/pulg² (corr)	%	lb/pulg²	lb/pulg² (corr)	%	lb/pulg²	lb/pulg² (corr)	%
0,1	1	942,45	970	97	673.62	680	68	435,69	470	47
0.2	1.5	1173.17	1185	79.00	893.01	897	59.80	435,69	625	41.67

Figura 3. 9. C.B.R. SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.

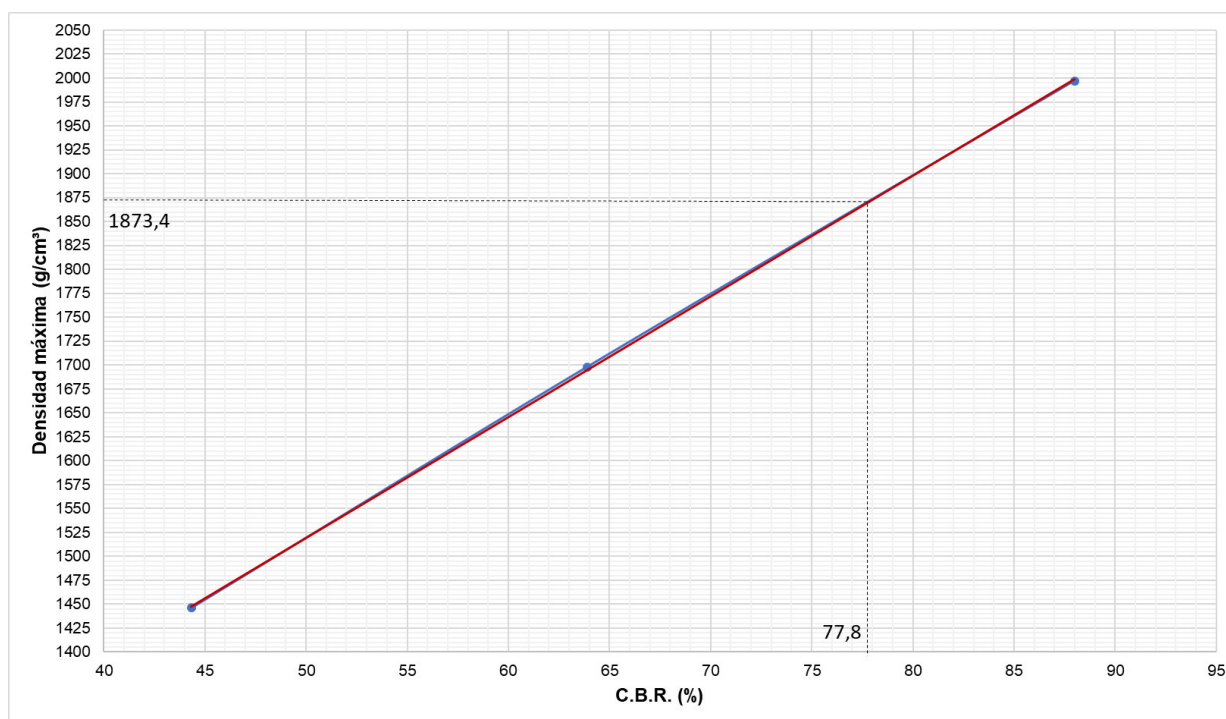


Tabla 3. 19. Valor C.B.R. SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Valor C.B.R.		
<b>Humedad óptima</b>	9,81	%
<b>Densidad máxima</b>	1972	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad máxima (95%)</b>	1873,4	g/cm <sup>3</sup>
<b>Valor C.B.R.</b>	<b>77,8</b>	<b>%</b>

Con los datos de presión y penetración hacemos la gráfica Presión vs Penetración como se indica en la Figura 3.8, para 56, 25 y 11 golpes.

Dibujamos una recta tangente en el punto con mayor pendiente para obtener los valores de carga corregidas para las penetraciones de 0.1 y 0.2 pulgadas en cada una de las curvas.

Con los datos de penetración corregidos Tabla 3.18 para 0.1 y 0.2 pulgadas, se saca el C.B.R. para cada uno, y se saca un promedio entre los dos, para 56, 25, 11 golpes.

Con los valores promedios de C.B.R. entre 0.1 y 0.2 pulgadas y las densidades secas para 56, 25, 11 golpes, se hace una gráfica como se indica en la Figura 3.9.

Con el valor de la densidad máxima corregida que proviene del 95% de la densidad máxima se traza una recta horizontal hasta que cruce con la línea de tendencia de la gráfica Densidad máxima vs C.B.R. y se baja una recta vertical desde el punto de cruce hasta encontrar el valor de C.B.R. como se indica en la Figura 3.9.

El valor que se obtiene es el número de C.B.R.

## C.B.R. SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 20. C.B.R. SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) SUBBASE CLASE 2												
Molde	Molde No. SL-8				Molde No. SL-20				Molde No. G-2			
No. De Capas	5				5				5			
No. De golpes por capa	56				25				11			
CONDICIONES DE LA MUESTRA	Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada	
Peso muestra húmeda + molde	12034		12988		11456		12489		10897		12134	
Peso del molde	7215		7215		7024		7024		7005		7005	
Peso muestra húmeda	4819		5773		4432		5465		3892		5129	
Volumen del molde	2234		2234		2285		2285		2205		2205	
Densidad húmeda	2,157		2,584		1,94		2,392		1,765		2,326	
Densidad seca	1974		1999		1775		1813		1616		1655	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente No.	ML-20	33	B-4	P11	B-4	B-30	ML-20	B-30	P11	8	33	8
Peso muestra húmeda + recipiente	73,6	79,11	91,18	97,43	79,67	96,76	93,34	97,92	102,77	96,19	116,81	118,75
Peso muestra seca + recipiente	68,92	73,98	73,48	79,96	74,03	90	75,58	78,18	95,9	89,76	88,96	89,86
Peso Agua	4,68	5,13	17,7	17,47	5,64	6,76	17,76	19,74	6,87	6,43	27,85	28,89
Peso Recipiente	18,5	18,95	12,26	21,08	12,26	17,95	18,5	17,95	21,08	20	18,95	20
Peso muestra seca + recipiente	50,42	55,03	61,22	58,88	61,77	72,05	57,08	60,23	74,82	69,76	70,01	69,86
Contenido de humedad (%)	9,28	9,32	28,91	29,67	9,13	9,38	31,11	32,77	9,18	9,22	39,78	41,35
Contenido promedio de humedad	9,28		29,29		9,26		31,94		9,2		40,57	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA												
Molde No.					Molde No. SL-8		Molde No. SL-20		Molde No. G-2			
Peso muestra húmeda + Molde después de saturación					12988		12489		12134			
Peso muestra húmeda + Molde antes de saturación					12034		11456		10897			
Peso agua absorbida					954		1033		1237			
Porcentaje de agua absorbida					19,8		23,31		31,78			
DATOS DE ESPONJAMIENTO												
Fecha	Tiempo en días	Molde No. SL-8			Molde No. SL-20			Molde No. G-2				
		Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%		
23/5/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
24/5/2018	1	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,08797		
25/5/2018	2	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,08797		
26/5/2018	3	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	4	0,004	0,08797		
27/5/2018	4	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	4	0,004	0,08797		
28/5/2018	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	4	0,004	0,08797		
DATOS DE PENETRACIÓN												
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg²	Molde No. SL-8			Molde No. SL-20			Molde No. G-2				
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.		
		Dial	lb/pulg²	%	Dial	lb/pulg²	%	Dial	lb/pulg²	%		
0,025		191	196,73		142	146,26		92	94,76			
0,050		411	423,33		335	345,05		126	129,78			
0,075		698	718,94		467	481,01		198	203,94			
0,100	1,0	898	924,94	95,49	656	675,68	70,57	389	400,67	43,07		
0,150		956	984,68		664	683,92		431	443,93			
0,200	1,5	1106	1139,18	77,95	831	855,93	59,06	541	557,23	39,15		
0,250		1211	1247,33		789	812,67		556	572,68			
0,300	1,9	1257	1294,71		833	857,99		567	584,01			
0,400	2,3	1289	1327,67		867	893,01		592	609,76			
0,500	2,6	1321	1360,63		912	939,36		609	627,27			



Figura 3. 10. C.B.R. SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración

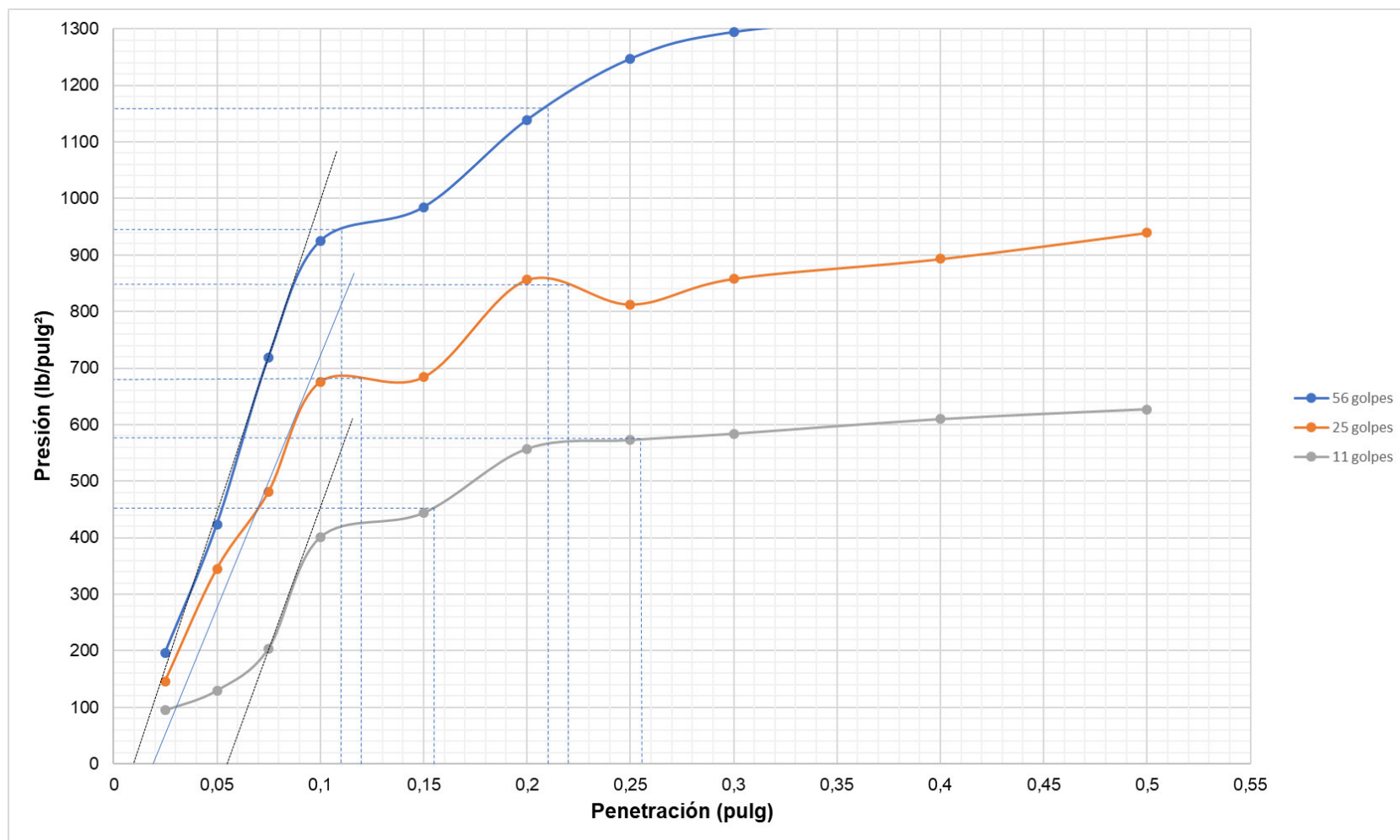


Tabla 3. 21. C.B.R. SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos Penetración

DATOS DE PENETRACIÓN (CORRECCIÓN)										
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg <sup>2</sup>	Molde No. SL-8			Molde No. SL-8			Molde No.G-2		
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.
		lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%
0,1	1	924,94	922	92,2	675,68	690	69	400,67	425	42,5
0,2	1,5	1139,18	1130	75,33	855,93	825	55,00	557,23	588	39,20

Figura 3. 11. C.B.R. SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.

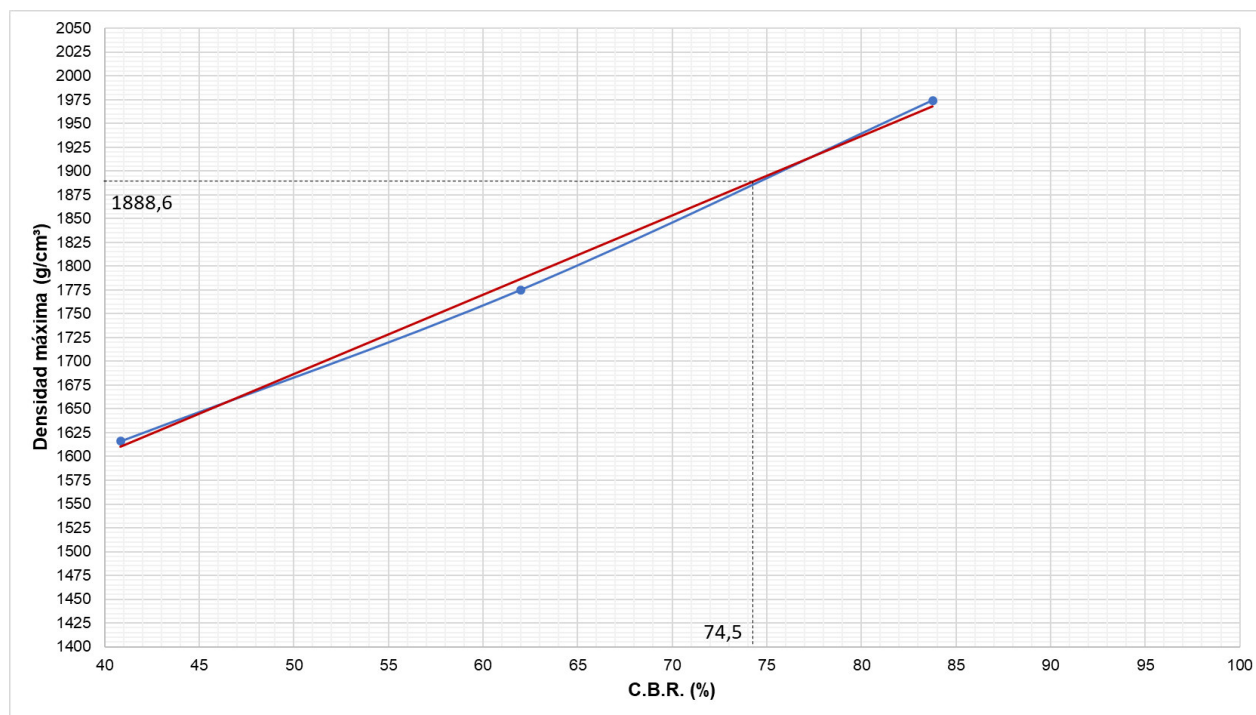


Tabla 3. 22. Valor C.B.R. SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Valor C.B.R.		
<b>Humedad óptima</b>	9,64	%
<b>Densidad máxima</b>	1988	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad máxima (95%)</b>	1888,6	g/cm <sup>3</sup>
<b>Valor C.B.R.</b>	<b>74,5</b>	<b>%</b>

Con los datos de presión y penetración hacemos la gráfica Presión vs Penetración como se indica en la Figura 3.10, para 56, 25 y 11 golpes.

Dibujamos una recta tangente en el punto con mayor pendiente para obtener los valores de carga corregidas para las penetraciones de 0.1 y 0.2 pulgadas en cada una de las curvas.

Con los datos de penetración corregidos Tabla 3.21 para 0.1 y 0.2 pulgadas, se saca el C.B.R. para cada uno, y se saca un promedio entre los dos, para 56, 25, 11 golpes.

Con los valores promedios de C.B.R. entre 0.1 y 0.2 pulgadas y las densidades secas para 56, 25, 11 golpes, se hace una gráfica como se indica en la Figura 3.11.

Con el valor de la densidad máxima corregida que proviene del 95% de la densidad máxima se traza una recta horizontal hasta que cruce con la línea de tendencia de la gráfica Densidad máxima vs C.B.R. y se baja una recta vertical desde el punto de cruce hasta encontrar el valor de C.B.R. como se indica en la Figura 3.11.

El valor que se obtiene es el número de C.B.R.

### C.B.R. SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 23. C.B.R. SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) SUBBASE CLASE 3												
Molde	Molde No. G5				Molde No. G-21				Molde No. G16			
No. De Capas	5				5				5			
No. De golpes por capa	56				25				11			
CONDICIONES DE LA MUESTRA	Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada	
Peso muestra húmeda + molde	11898		12443		11233		11874		10688		11399	
Peso del molde	6998		6998		7015		7015		7022		7022	
Peso muestra húmeda	4900		5445		4218		4859		3666		4377	
Volumen del molde	2286		2286		2215		2215		2286		2286	
Densidad húmeda	2,143		2,382		1,904		2,194		1,604		1,915	
Densidad seca	1942		1950		1728		1756		1454		1493	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente No.	ML-21	AB-15	45	ML-13	C-15	45	M-2	AB-15	ML-13	M-2	C-15	ML-21
Peso muestra húmeda + recipiente	65,98	73,91	90,87	94,57	71,66	67,1	76,91	69,61	82,64	65,62	67,01	70,3
Peso muestra seca + recipiente	61,24	68,76	77,89	81,25	66,69	62,76	64,11	59,53	76,91	60,58	56,22	58,15
Peso Agua	4,74	5,15	12,98	13,32	4,97	4,34	12,8	10,08	5,73	5,04	10,79	12,15
Peso Recipiente	14,9	19,75	19,8	20,6	18,15	19,8	12	19,75	20,6	12	18,15	14,9
Peso muestra seca + recipiente	46,34	49,01	58,09	60,65	48,54	42,96	52,11	39,78	56,31	48,58	38,07	43,25
Contenido de humedad (%)	10,23	10,54	22,34	21,96	10,24	10,1	24,56	25,34	10,18	10,37	28,34	28,09
Contenido promedio de humedad	10,39		22,15		10,17		24,95		10,28		28,22	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA												
Molde No.					Molde No. G5		Molde No. G-21		Molde No. G16			
Peso muestra húmeda + Molde después de saturación					12443		11874		11399			
Peso muestra húmeda + Molde antes de saturación					11898		11233		10688			
Peso agua absorbida					545		641		711			
Porcentaje de agua absorbida					11,12		15,2		19,39			
DATOS DE ESPONJAMIENTO												
Fecha	Tiempo en días	Molde No. G5			Molde No. G-21			Molde No. G16				
		Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%		
23/5/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24/5/2018	1	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,06598	4	0,004	0,08797		
25/5/2018	2	2	0,002	0,043985	5	0,005	0,10996	4	0,004	0,08797		
26/5/2018	3	2	0,002	0,043985	5	0,005	0,10996	6	0,006	0,13196		
27/5/2018	4	2	0,002	0,043985	5	0,005	0,10996	6	0,006	0,13196		
28/5/2018	5	2	0,002	0,043985	5	0,005	0,10996	6	0,006	0,13196		
DATOS DE PENETRACIÓN												
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg²	Molde No. G5			Molde No. G-21			Molde No. G16				
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.		
		Dial	lb/pulg²	%	Dial	lb/pulg²	%	Dial	lb/pulg²	%		
0,025		163	167,89		127	130,81		89	91,67			
0,050		389	400,67		242	249,26		109	112,27			
0,075		591	608,73		289	297,67		227	233,81			
0,100	1,0	850	875,5	90,55	589	606,67	63,67	322	331,66		36,17	
0,150		978	1007,34		623	641,69		361	371,83			
0,200	1,5	1059	1090,77	74,72	693	713,79	49,59	456	469,68		33,31	
0,250		1167	1202,01		745	767,35		478	492,34			
0,300	1,9	1243	1280,29		767	790,01		494	508,82			
0,400	2,3	1289	1327,67		791	814,73		511	526,33			
0,500	2,6	1297	1335,91		812	836,36		523	538,69			

Figura 3. 12. C.B.R. SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración

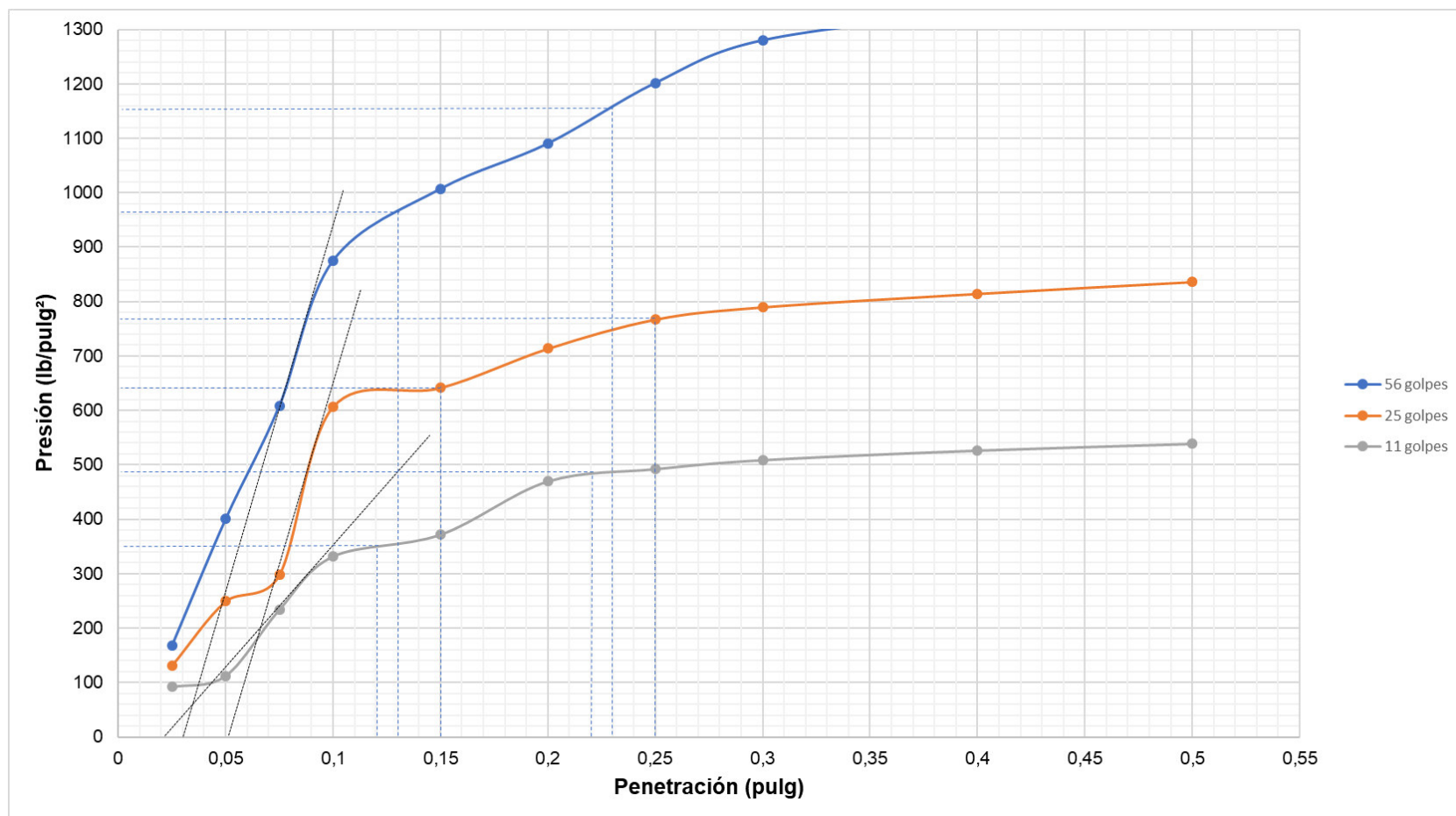


Tabla 3. 24. C.B.R. SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos penetración (Corrección)

DATOS DE PENETRACIÓN (CORRECCIÓN)										
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg <sup>2</sup>	Molde No. G5			Molde No. G-21			Molde No. G16		
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.
		lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%
0,1	1	875,5	932	93,2	589	620	62	322	325	32,5
0,2	1,5	1090,77	1128	75,20	693	732	48,80	456	492	32,80

Figura 3. 13. C.B.R. SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.

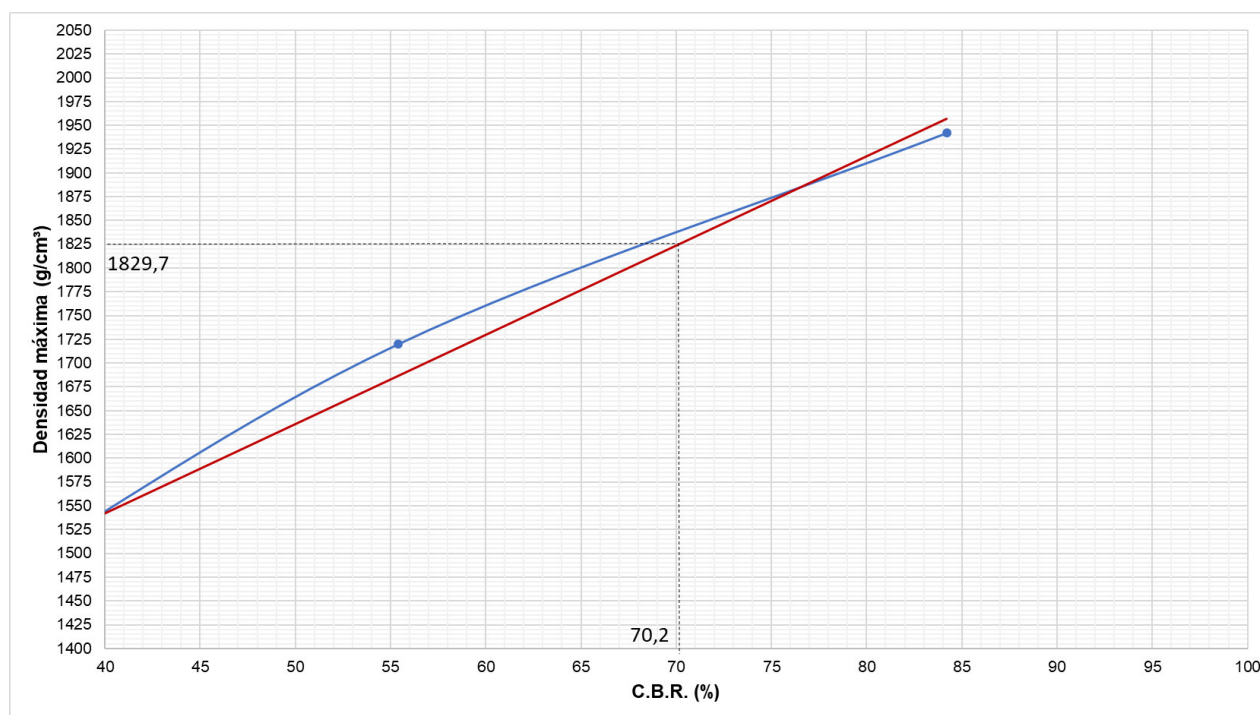


Tabla 3. 25. Valor C.B.R. SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Valor C.B.R.		
<b>Humedad óptima</b>	10,9	%
<b>Densidad máxima</b>	1926	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad máxima (95%)</b>	1829,7	g/cm <sup>3</sup>
<b>Valor C.B.R.</b>	<b>70,2</b>	<b>%</b>

Con los datos de presión y penetración hacemos la gráfica Presión vs Penetración como se indica en la Figura 3.12, para 56, 25 y 11 golpes.

Dibujamos una recta tangente en el punto con mayor pendiente para obtener los valores de carga corregidas para las penetraciones de 0.1 y 0.2 pulgadas en cada una de las curvas.

Con los datos de penetración corregidos Tabla 3.24 para 0.1 y 0.2 pulgadas, se saca el C.B.R. para cada uno, y se saca un promedio entre los dos, para 56, 25, 11 golpes. Con los valores promedios de C.B.R. entre 0.1 y 0.2 pulgadas y las densidades secas para 56, 25, 11 golpes, se hace una gráfica como se indica en la Figura 3.13.

Con el valor de la densidad máxima corregida que proviene del 95% de la densidad máxima se traza una recta horizontal hasta que cruce con la línea de tendencia de la gráfica Densidad máxima vs C.B.R. y se baja una recta vertical desde el punto de cruce hasta encontrar el valor de C.B.R. como se indica en la Figura 3.13.

El valor que se obtiene es el número de C.B.R.

## C.B.R. BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 26. BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) BASE CLASE 1 TIPO A														
Molde	Molde No. SL-23				Molde No. M-4				Molde No. G-17					
No. De Capas	5				5				5					
No. De golpes por capa	56				25				11					
CONDICIONES DE LA MUESTRA	Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada			
Peso muestra húmeda + molde	12657		13360		11656		12467		10897		11694			
Peso del molde	7302		7302		6987		6987		7036		7036			
Peso muestra húmeda	5355		6058		4669		5480		3861		4658			
Volumen del molde	2209		2209		2286		2286		2258		2258			
Densidad húmeda	2,424		2,742		2,042		2,397		1,71		2,063			
Densidad seca	2198		2209		1852		1854		1552		1574			
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo		
Recipiente No.	ML-29	C-20	DS-7	B-6	B-11	DS-7	ML-29	B-11	AS	B-6	C-20	AS		
Peso muestra húmeda + recipiente	86,72	95,38	95	93,52	96,7	97,47	99,43	96,89	99,48	95,31	105,24	106,58		
Peso muestra seca + recipiente	80,44	88	81,01	78,42	89,35	90,34	81,43	78,57	92,29	88	84,59	85,83		
Peso Agua	6,28	7,38	13,99	15,1	7,35	7,13	18	18,32	7,19	7,31	20,65	20,75		
Peso Recipiente	19,1	16,7	21,8	17,2	16,79	21,8	19,1	16,79	20,5	17,2	16,7	20,5		
Peso muestra seca + recipiente	61,34	71,3	59,21	61,22	72,56	68,54	62,33	61,78	71,79	70,8	67,89	65,33		
Contenido de humedad (%)	10,24	10,35	23,63	24,67	10,13	10,4	28,88	29,65	10,02	10,32	30,42	31,76		
Contenido promedio de humedad	10,30		24,15		10,265		29,27		10,17		31,09			
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA														
Molde No.					SL-23						M-4		G-17	
Peso muestra húmeda + Molde después de saturación					13360						12467		11694	
Peso muestra húmeda + Molde antes de saturación					12657						11656		10897	
Peso agua absorbida					703						811		797	
Porcentaje de agua absorbida					13,13						17,37		20,64	
DATOS DE ESPONJAMIENTO														
Fecha	Tiempo en días	Molde No. SL-23			Molde No. M-4			Molde No. G-17						
		Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%				
23/5/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
24/5/2018	1	1	0,001	0,021993	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,043985				
25/5/2018	2	2	0,002	0,043985	1	0,001	0,021993	4	0,004	0,08797				
26/5/2018	3	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	4	0,004	0,08797				
27/5/2018	4	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	4	0,004	0,08797				
28/5/2018	5	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	4	0,004	0,08797				
DATOS DE PENETRACIÓN														
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg²	Molde No. SL-23			Molde No. M-4			Molde No. G-17						
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.				
		Dial	lb/pulg²	%	Dial	lb/pulg²	%	Dial	lb/pulg²	%				
0,025		461	474,83		331	340,93		211	217,33					
0,050		623	641,69		486	500,58		335	345,05					
0,075		914	941,42		632	650,96		409	421,27					
0,100	1,0	1043	1074,29	110,43	876	902,28	93,23	534	550,02	58				
0,150		1288	1326,64		978	1007,34		636	655,08					
0,200	1,5	1445	1488,35	101,22	1178	1213,34	82,89	712	733,36	50,89				
0,250		1532	1577,96		1236	1273,08		757	779,71					
0,300	1,9	1578	1625,34		1276	1314,28		791	814,73					
0,400	2,3	1622	1670,66		1311	1350,33		834	859,02					
0,500	2,6	1642	1691,26		1349	1389,47		867	893,01					



Figura 3. 14. C.B.R. BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración

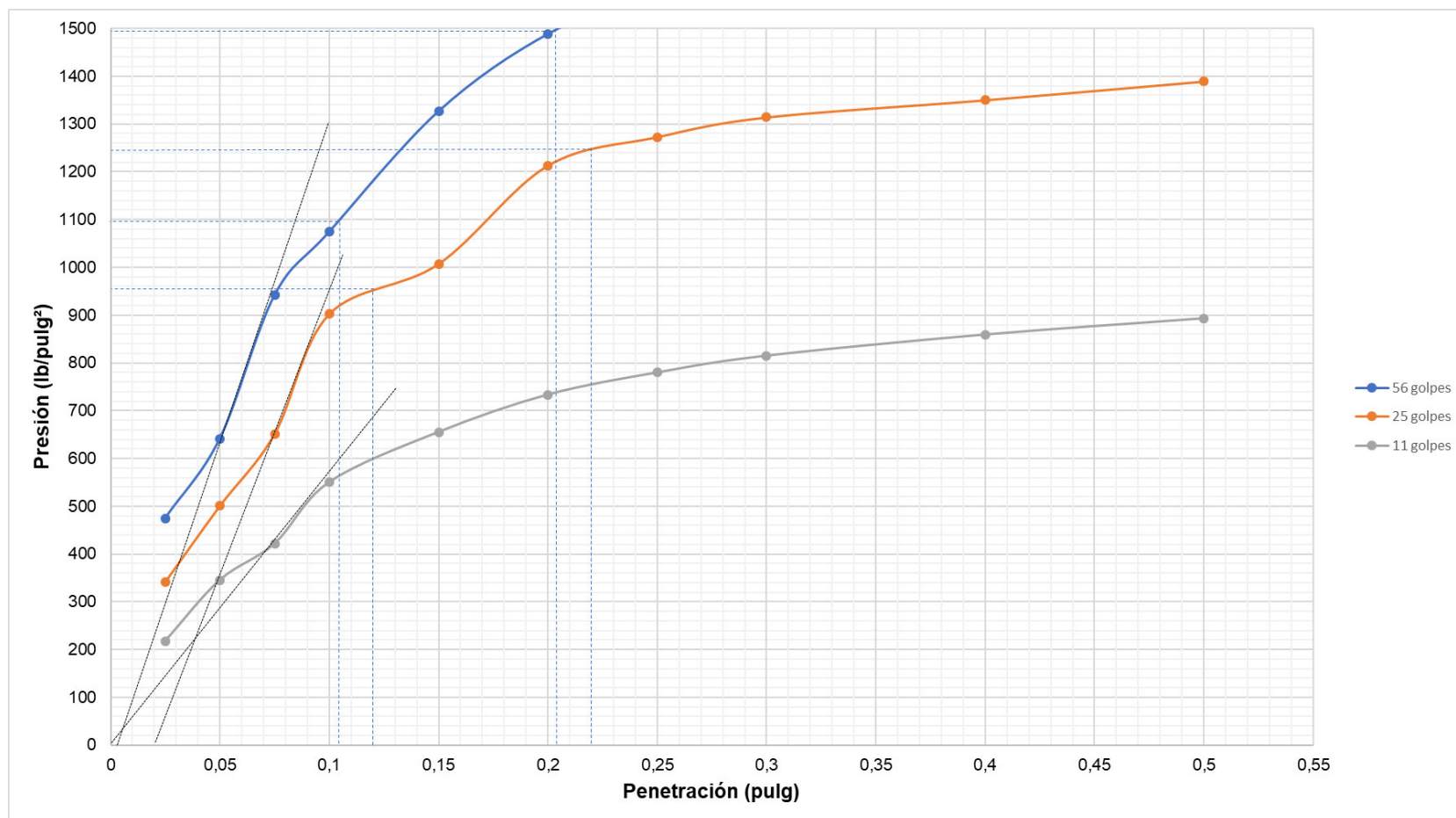


Tabla 3. 27. C.B.R. BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos penetración

DATOS DE PENETRACIÓN (CORRECCIÓN)										
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg <sup>2</sup>	Molde No. SL-23			Molde No. M-4			Molde No. G-17		
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.
		lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%
0,1	1	1074,29	1098	109,8	902,28	928	92,8	550,02	550,02	55
0,2	1,5	1488,35	1498	99,87	1213,34	1222	81,47	733,36	733,36	48,89

Figura 3. 15. C.B.R. BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.

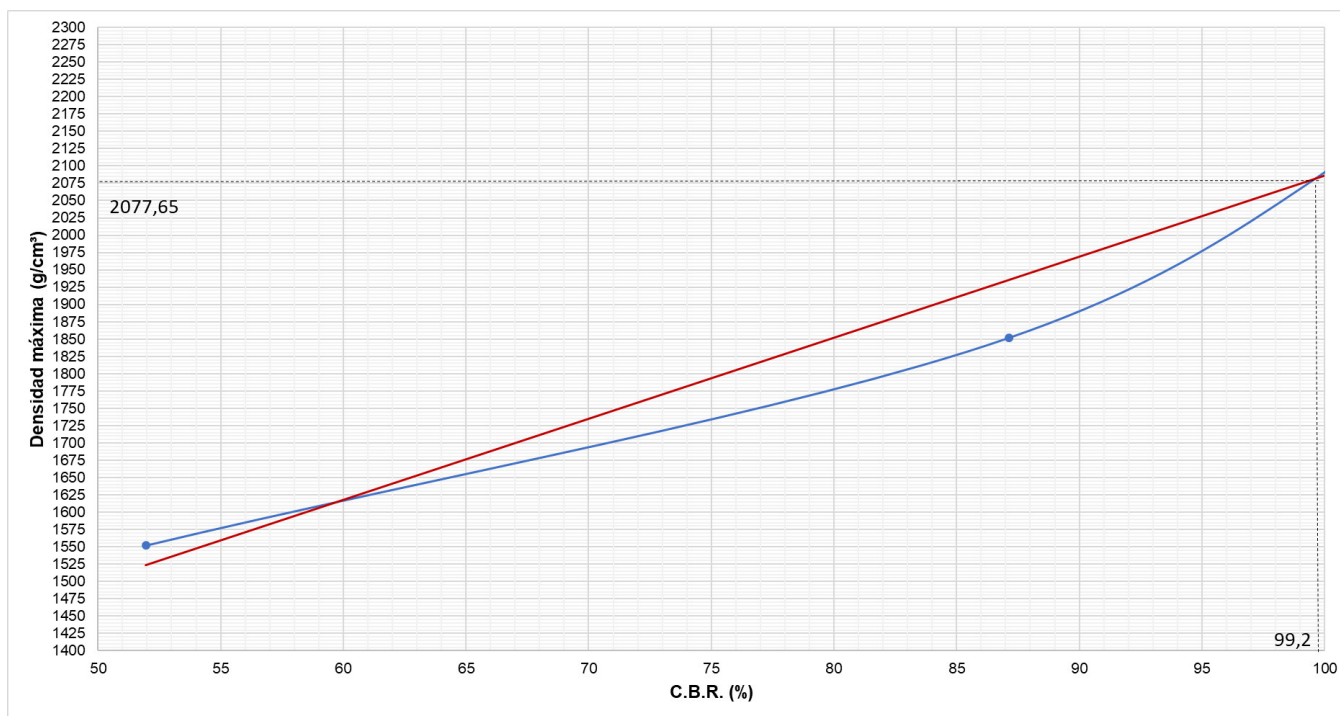


Tabla 3. 28. Valor C.B.R. BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Valor C.B.R.		
<b>Humedad óptima</b>	10,06	%
<b>Densidad máxima</b>	2187	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad máxima (95%)</b>	2077,65	g/cm <sup>3</sup>
<b>Valor C.B.R.</b>	<b>99,2</b>	<b>%</b>

Con los datos de presión y penetración hacemos la gráfica Presión vs Penetración como se indica en la Figura 3.14, para 56, 25 y 11 golpes.

Dibujamos una recta tangente en el punto con mayor pendiente para obtener los valores de carga corregidas para las penetraciones de 0.1 y 0.2 pulgadas en cada una de las curvas.

Con los datos de penetración Tabla 3.27 para 0.1 y 0.2 pulgadas, se saca el C.B.R. para cada uno, y se saca un promedio entre los dos, para 56, 25, 11 golpes.

Con los valores promedios de C.B.R. entre 0.1 y 0.2 pulgadas y las densidades secas para 56, 25, 11 golpes, se hace una gráfica como se indica en la Figura 3.15.

Con el valor de la densidad máxima corregida que proviene del 95% de la densidad máxima se traza una recta horizontal hasta que cruce con la línea de tendencia de la gráfica Densidad máxima vs C.B.R. y se baja una recta vertical desde el punto de cruce hasta encontrar el valor de C.B.R. como se indica en la Figura 3.15.

El valor que se obtiene es el número de C.B.R.

## C.B.R. BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 29. C.B.R. BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) BASE CLASE 2													
Molde		Molde No. AC-28				Molde No. G-19				Molde No. AL-22			
No. De Capas		5				5				5			
No. De golpes por capa		56				25				11			
CONDICIONES DE LA MUESTRA		Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada	
Peso muestra húmeda + molde		12589		13389		11234		12098		11233		12233	
Peso del molde		7092		7092		6875		6875		7088		7088	
Peso muestra húmeda		5497		6297		4359		5223		4145		5145	
Volumen del molde		2294		2294		2215		2215		2286		2286	
Densidad húmeda		2,396		2,745		1,968		2,358		1,813		2,251	
Densidad seca		2174		2195		1786		1814		1644		1679	
CONTENIDO DE HUMEDAD		Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente No.		ML-D	ML-17	DS-1	ML-9	ML-7	ML-12	ML-D	ML-12	DS-1	ML-9	ML-7	ML-17
Peso muestra húmeda + recipiente		75,07	94	89,77	91,78	97,13	89,09	99,05	97,63	93,94	92,98	101,7	102,96
Peso muestra seca + recipiente		70,08	87	75,85	77,27	89,96	82,57	81,31	79,18	87,09	86,12	81,02	81,38
Peso Agua		4,99	7	13,92	14,51	7,17	6,52	17,74	18,45	6,85	6,86	20,68	21,58
Peso Recipiente		20,4	19,5	19,44	20,2	18,8	19,4	20,4	19,4	19,44	20,2	18,8	19,5
Peso muestra seca + recipiente		49,68	67,5	56,41	57,07	71,16	63,17	60,91	59,78	67,65	65,92	62,22	61,88
Contenido de humedad (%)		10,04	10,37	24,68	25,42	10,08	10,32	29,12	30,86	10,13	10,41	33,24	34,87
Contenido promedio de humedad		10,21		25,05		10,20		29,99		10,27		34,06	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA													
Molde No.		Molde No. AC-28				Molde No. G-19				Molde No. AL-22			
Peso muestra húmeda + Molde después de saturación		13389				12098				12233			
Peso muestra húmeda + Molde antes de saturación		12589				11234				11233			
Peso agua absorbida		800				864				1000			
Porcentaje de agua absorbida		14,55				19,82				24,13			
DATOS DE ESPONJAMIENTO													
Fecha	Tiempo en días	Molde No. AC-28			Molde No. G-19			Molde No. AL-22					
		Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%			
23/05/2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
24/5/2018	1	1	0,001	0,021993	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,043985	0,043985		
25/5/2018	2	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	0,065978		
26/5/2018	3	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	0,065978		
27/5/2018	4	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	0,065978		
28/5/2018	5	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	0,065978		
DATOS DE PENETRACIÓN													
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg²	Molde No. AC-28			Molde No. G-19			Molde No. AL-22					
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.			
		Dial	lb/pulg²		Dial	lb/pulg²		Dial	lb/pulg²				
0,025	1,0	443	456,29	108,37	311	320,33	81,80	211	217,33	38,23			
0,050		651	670,53		542	558,26		349	359,47				
0,075		982	1011,46		754	776,62		478	492,34				
0,100		1023	1053,69		765	787,95		342	352,26				
0,150		1325	1364,75		1096	1128,88		718	739,54				
0,200	1,5	1423	1465,69	99,71	1154	1188,62	81,24	823	847,69	58,51			
0,250	1,9	1562	1608,86		1232	1268,96		882	908,46				
0,300		1588	1635,64		1265	1302,95		933	960,99				
0,400		1632	1680,96		1289	1327,67		951	979,53				
0,500		1642	1691,26		1334	1374,02		967	996,01				

Figura 3. 16. C.B.R. BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración

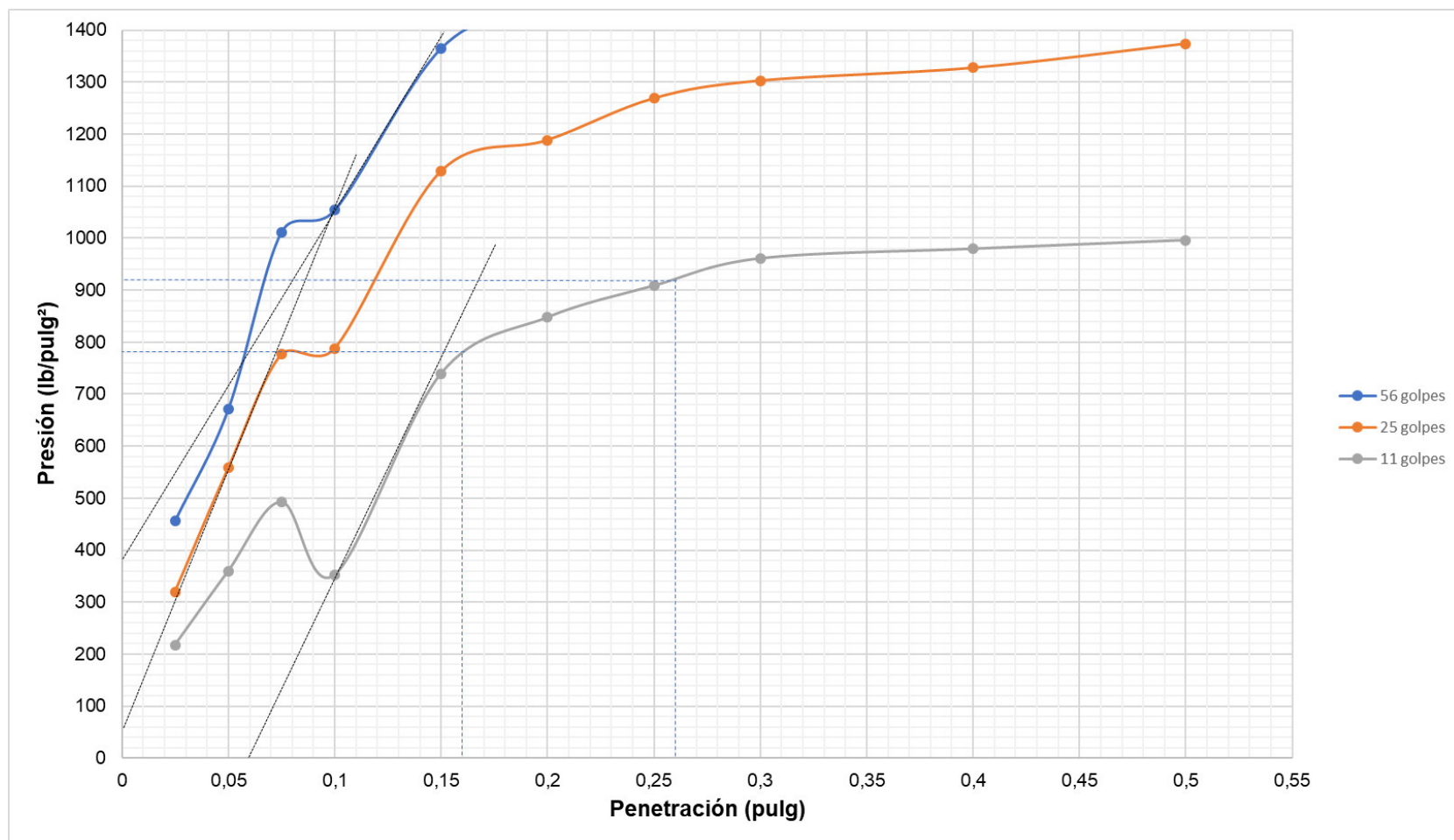


Tabla 3. 30. C.B.R. BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos penetración

DATOS DE PENETRACIÓN (CORRECCIÓN)										
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg <sup>2</sup>	Molde No. AC-28			Molde No. G-19			Molde No. AL-22		
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.
		lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%
0,1	1	1053,69	1053,69	108,369	787,95	787,95	81,795	352,26	790	79
0,2	1,5	1465,69	1465,69	99,71	1188,62	1188,62	81,24	847,69	910	60,67

Figura 3. 17. C.B.R. BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.

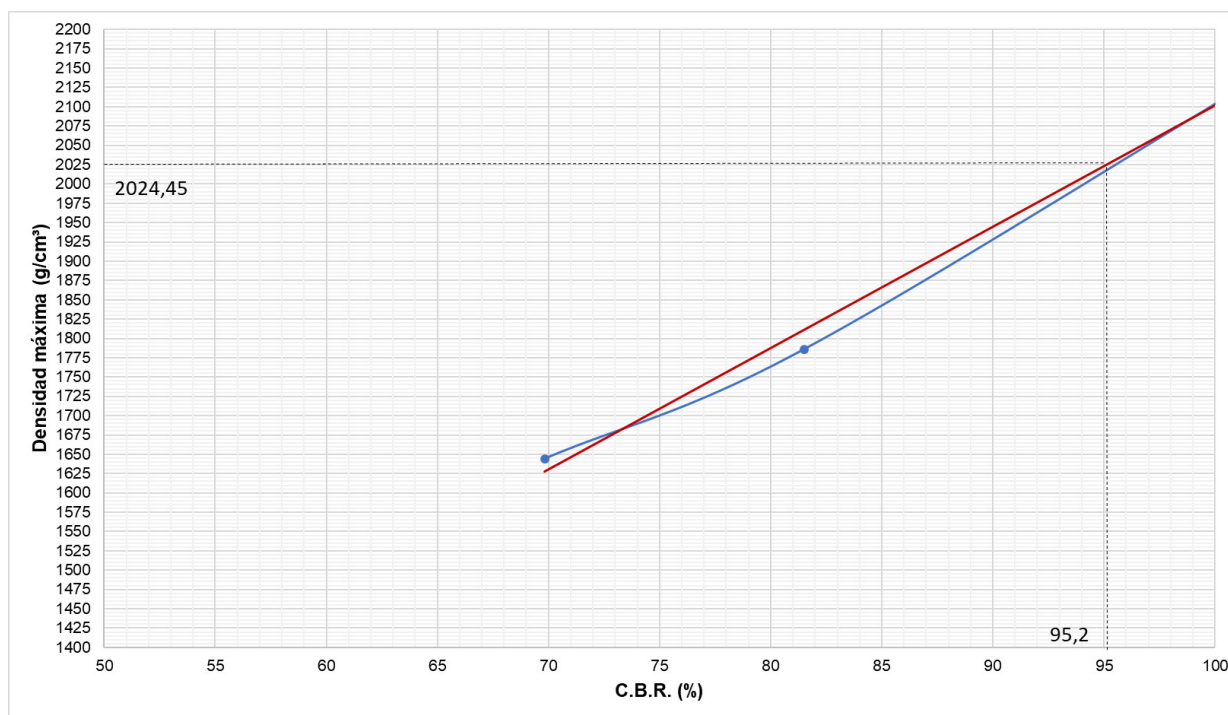


Tabla 3. 31. Valor C.B.R. BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Valor C.B.R.		
<b>Humedad óptima</b>	9,95	%
<b>Densidad máxima</b>	2131	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad máxima (95%)</b>	2024,45	g/cm <sup>3</sup>
<b>Valor C.B.R.</b>	<b>95,2</b>	<b>%</b>

Con los datos de presión y penetración hacemos la gráfica Presión vs Penetración como se indica en la Figura 3.16, para 56, 25 y 11 golpes.

Dibujamos una recta tangente en el punto con mayor pendiente para obtener los valores de carga corregidas para las penetraciones de 0.1 y 0.2 pulgadas en cada una de las curvas.

Con los datos de penetración Tabla 3.30 para 0.1 y 0.2 pulgadas, se saca el C.B.R. para cada uno, y se saca un promedio entre los dos, para 56, 25, 11 golpes.

Con los valores promedios de C.B.R. entre 0.1 y 0.2 pulgadas y las densidades secas para 56, 25, 11 golpes, se hace una gráfica como se indica en la Figura 3.17.

Con el valor de la densidad máxima corregida que proviene del 95% de la densidad máxima se traza una recta horizontal hasta que cruce con la línea de tendencia de la gráfica Densidad máxima vs C.B.R. y se baja una recta vertical desde el punto de cruce hasta encontrar el valor de C.B.R. como se indica en la Figura 3.17.

El valor que se obtiene es el número de C.B.R.

## C.B.R. BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 32. C.B.R. BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) BASE CLASE 3												
Molde	Molde No. G-7				Molde No. LL-22				Molde No. D-12			
No. De Capas	5				5				5			
No. De golpes por capa	56				25				11			
CONDICIONES DE LA MUESTRA	Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada	
Peso muestra húmeda + molde	12233		13187		11897		13033		10766		11913	
Peso del molde	7105		7105		7088		7088		6518		6518	
Peso muestra húmeda	5128		6082		4809		5945		4248		5395	
Volumen del molde	2223		2223		2286		2286		2366		2366	
Densidad húmeda	2,307		2,736		2,104		2,601		1,795		2,28	
Densidad seca	2095		2116		1913		1938		1633		1643	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente No.	ML-32	SD-2	B-28	ML-35	ML-8	ML-35	ML-32	ML-8	QT-9	B-28	QT-9	SD-2
Peso muestra húmeda + recipiente	93,17	92,27	102,33	87,08	95,95	95,13	101,86	101,36	96,55	94,09	101,59	104,04
Peso muestra seca + recipiente	86,04	85,54	83,11	69,58	89,01	87,42	79,94	80,09	89,56	87	78,74	80,27
Peso Agua	7,13	6,73	19,22	17,5	6,94	7,71	21,92	21,27	6,99	7,09	22,85	23,77
Peso Recipiente	14,4	20,04	16,69	10,5	19,1	10,5	14,4	19,1	18,76	16,69	18,76	20,04
Peso muestra seca + recipiente	71,64	65,5	66,42	59,08	69,91	76,92	65,54	60,99	70,8	70,31	59,98	60,23
Contenido de humedad (%)	9,95	10,27	28,94	29,62	9,93	10,02	33,45	34,87	9,87	10,08	38,1	39,47
Contenido promedio de humedad	10,11		29,28		9,98		34,16		9,98		38,79	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA												
Molde No.					G-7		LL-22				D-12	
Peso muestra húmeda + Molde después de saturación					13187		13033				11913	
Peso muestra húmeda + Molde antes de saturación					12233		11897				10766	
Peso agua absorbida					954		1136				1147	
Porcentaje de agua absorbida					18,6		23,62				27	
DATOS DE ESPONJAMIENTO												
Fecha	Tiempo en días	Molde No. G-7			Molde No. LL-22			Molde No. D-12				
		Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%		
23/5/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24/5/2018	1	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978		
25/5/2018	2	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978		
26/5/2018	3	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978		
27/5/2018	4	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,08797		
28/5/2018	5	2	0,002	0,043985	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,08797		
DATOS DE PENETRACIÓN												
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg²	Molde No. G-7			Molde No. LL-22			Molde No. D-12				
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.		
		Dial	lb/pulg²		Dial	lb/pulg²		Dial	lb/pulg²			
0,025		398	409,94		281	289,43		122	125,66			
0,050		643	662,29		477	491,31		233	239,99			
0,075		923	950,69		632	650,96		341	351,23			
0,100	1,0	1098	1130,94	116,094	889	915,67	94,567	590	607,7	63,77		
0,150		1156	1190,68		987	1016,61		644	663,32			
0,200	1,5	1392	1433,76	97,58	1034	1065,02	73,00	744	766,32	53,09		
0,250		1459	1502,77		1092	1124,76		788	811,64			
0,300	1,9	1483	1527,49		1134	1168,02		823	847,69			
0,400	2,3	1545	1591,35		1168	1203,04		845	870,35			
0,500	2,6	1577	1624,31		1212	1248,36		877	903,31			



Figura 3. 18. C.B.R. BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración

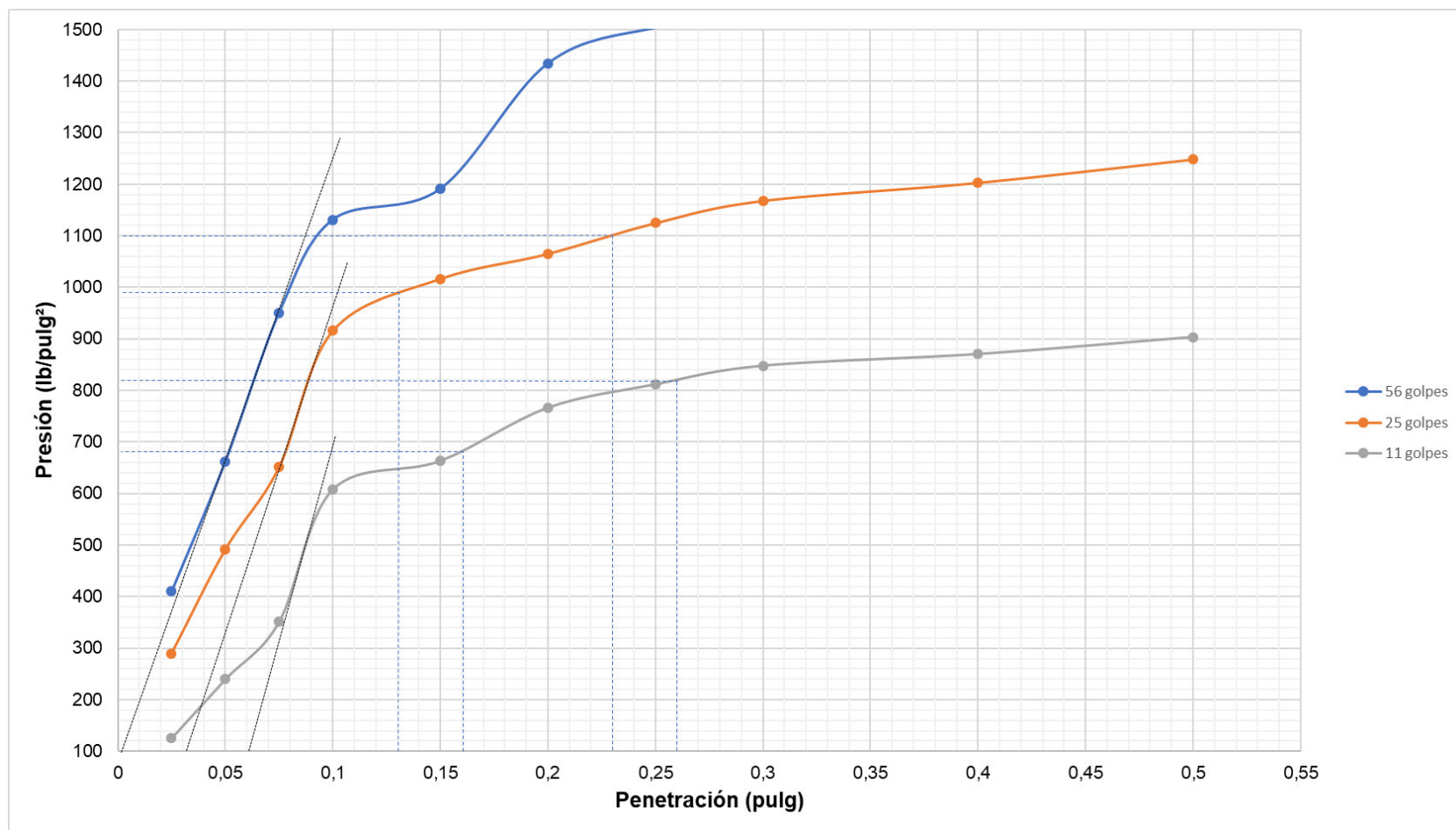


Tabla 3. 33. C.B.R. BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos penetración

DATOS DE PENETRACIÓN (CORRECCIÓN)										
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg <sup>2</sup>	Molde No. G-7			Molde No. LL-22			Molde No. D-12		
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.
		lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%
0,1	1	1130,94	1040,7	104,07	915,67	995	99,5	607,7	690	69
0,2	1,5	1433,76	1374,3	91,62	1065,02	1100,00	73,33	766,32	800	53,33

Figura 3. 19. C.B.R. BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.

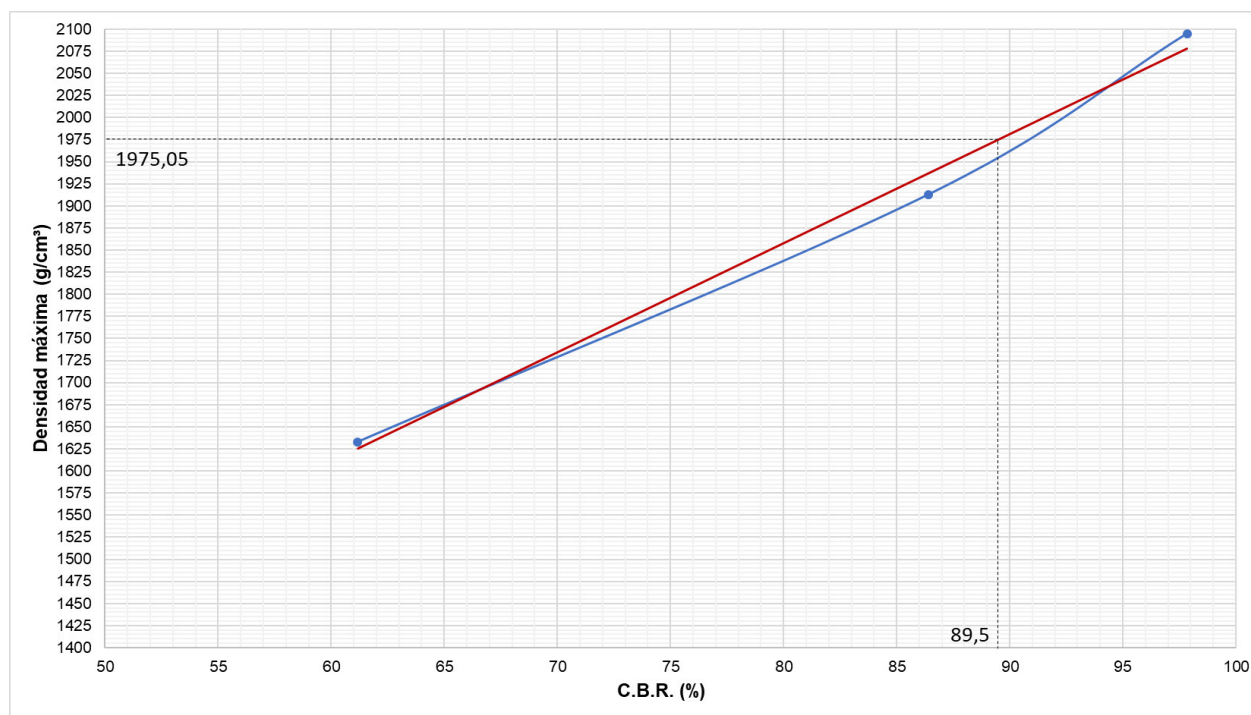


Tabla 3. 34. Valor C.B.R. BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Valor C.B.R.		
<b>Humedad óptima</b>	10,29	%
<b>Densidad máxima</b>	2079	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad máxima (95%)</b>	1975,05	g/cm <sup>3</sup>
<b>Valor C.B.R.</b>	<b>89,5</b>	<b>%</b>

Con los datos de presión y penetración hacemos la gráfica Presión vs Penetración como se indica en la Figura 3.18, para 56, 25 y 11 golpes.

Dibujamos una recta tangente en el punto con mayor pendiente para obtener los valores de carga corregidas para las penetraciones de 0.1 y 0.2 pulgadas en cada una de las curvas.

Con los datos de penetración Tabla 3.33 para 0.1 y 0.2 pulgadas, se saca el C.B.R. para cada uno, y se saca un promedio entre los dos, para 56, 25, 11 golpes.

Con los valores promedios de C.B.R. entre 0.1 y 0.2 pulgadas y las densidades secas para 56, 25, 11 golpes, se hace una gráfica como se indica en la Figura 3.19.

Con el valor de la densidad máxima corregida que proviene del 95% de la densidad máxima se traza una recta horizontal hasta que cruce con la línea de tendencia de la gráfica Densidad máxima vs C.B.R. y se baja una recta vertical desde el punto de cruce hasta encontrar el valor de C.B.R. como se indica en la Figura 3.19.

El valor que se obtiene es el número de C.B.R.

## C.B.R. BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 35. C.B.R. BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) BASE CLASE 4												
Molde	Molde No. SL-11				Molde No. B-6				Molde No. G-6			
No. De Capas	5				5				5			
No. De golpes por capa	56				25				11			
CONDICIONES DE LA MUESTRA	Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada		Antes Saturada		Después Saturada	
Peso muestra húmeda + molde	12081		12842		11656		12788		10933		12133	
Peso del molde	6996		6996		6998		6998		6896		6896	
Peso muestra húmeda	5085		5846		4658		5790		4037		5237	
Volumen del molde	2226		2226		2286		2286		2205		2205	
Densidad húmeda	2,284		2,626		2,038		2,533		1,831		2,375	
Densidad seca	2088		2092		1864		1901		1678		1702	
CONTENIDO DE HUMEDAD	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo	Arriba	Abajo
Recipiente No.	22	AS-5	12	22	W-5	C-17	AS-5	C-17	C-14	12	W-5	C-14
Peso muestra húmeda + recipiente	93,37	93,96	96,11	97,44	90,14	91,23	93,23	102,54	99,16	95,88	105,36	103,07
Peso muestra seca + recipiente	87	87,59	81,22	81,03	84,25	85,08	75,39	81,6	92,54	89,55	81,47	79,08
Peso Agua	6,37	6,37	14,89	16,41	5,89	6,15	17,84	20,94	6,62	6,33	23,89	23,99
Peso Recipiente	18,7	20,4	21,13	18,7	20,14	20,16	20,4	20,16	19,2	21,13	20,14	19,2
Peso muestra seca + recipiente	68,3	67,19	60,09	62,33	64,11	64,92	54,99	61,44	73,34	68,42	61,33	59,88
Contenido de humedad (%)	9,33	9,48	24,78	26,33	9,19	9,47	32,44	34,08	9,03	9,25	38,95	40,06
Contenido promedio de humedad	9,41		25,56		9,33		33,26		9,14		39,51	
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA												
Molde No.	Molde No. SL-11				Molde No. B-6				Molde No. G-6			
Peso muestra húmeda + Molde después de saturación	12842				12788				12133			
Peso muestra húmeda + Molde antes de saturación	12081				11656				10933			
Peso agua absorbida	761				1132				1200			
Porcentaje de agua absorbida	14,97				24,3				29,73			
DATOS DE ESPONJAMIENTO												
Fecha	Tiempo en días	Molde No. SL-11			Molde No. B-6			Molde No. G-6				
		Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%	Lectura indicador	Pulg.	%		
23/5/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
24/5/2018	1	1	0,001	0,021993	1	0,001	0,021993	2	0,002	0,043985		
25/5/2018	2	2	0,002	0,043985	3	0,003	0,065978	4	0,004	0,08797		
26/5/2018	3	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,08797	4	0,004	0,08797		
27/5/2018	4	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,08797	4	0,004	0,08797		
28/5/2018	5	2	0,002	0,043985	4	0,004	0,08797	4	0,004	0,08797		
DATOS DE PENETRACIÓN												
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg²	Molde No. SL-11			Molde No. B-6			Molde No. G-6				
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.		
		Dial	lb/pulg²	%	Dial	lb/pulg²	%	Dial	lb/pulg²	%		
0,025		342	352,26		234	241,02		109	112,27			
0,050		523	538,69		331	340,93		177	182,31			
0,075		867	893,01		645	664,35		323	332,69			
0,100	1,0	1094	1126,82	115,682	811	835,33	86,533	526	541,78	57,178		
0,150		1223	1259,69		783	806,49		611	629,33			
0,200	1,5	1347	1387,41	94,49	992	1021,76	70,12	694	714,82	49,65		
0,250		1369	1410,07		1024	1054,72		733	754,99			
0,300	1,9	1423	1465,69		1082	1114,46		765	787,95			
0,400	2,3	1456	1499,68		1123	1156,69		772	795,16			
0,500	2,6	1488	1532,64		1145	1179,35		791	814,73			

Figura 3. 20. C.B.R. BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Presión vs Penetración

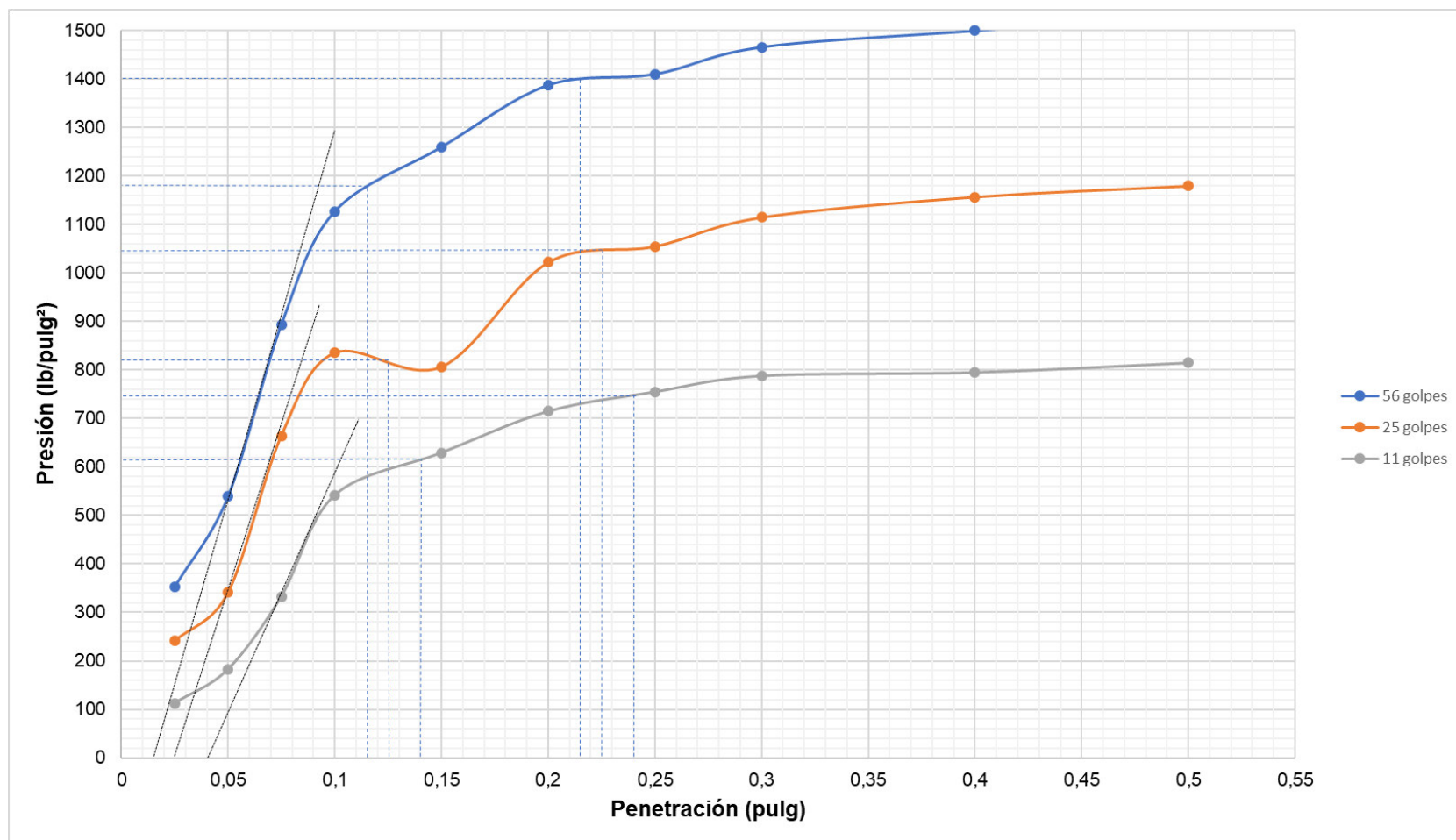


Tabla 3. 36. C.B.R. BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Datos penetración

DATOS DE PENETRACIÓN (CORRECCIÓN)										
Penetración en pulgadas	Cargas tipo lb/pulg <sup>2</sup>	Molde No. SL-11			Molde No. B-6			Molde No. G-6		
		Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.	Carga de ensayo		C.B.R.
		lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%	lb/pulg <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup> (corr)	%
0,1	1	1126,82	1190	119	835,33	810	81	541,78	608	60,8
0,2	1,5	1387,41	1400	93,33	1021,76	1022	68,13	714,82	722	48,13

Figura 3. 21. C.B.R. BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas): Densidad máxima vs C.B.R.

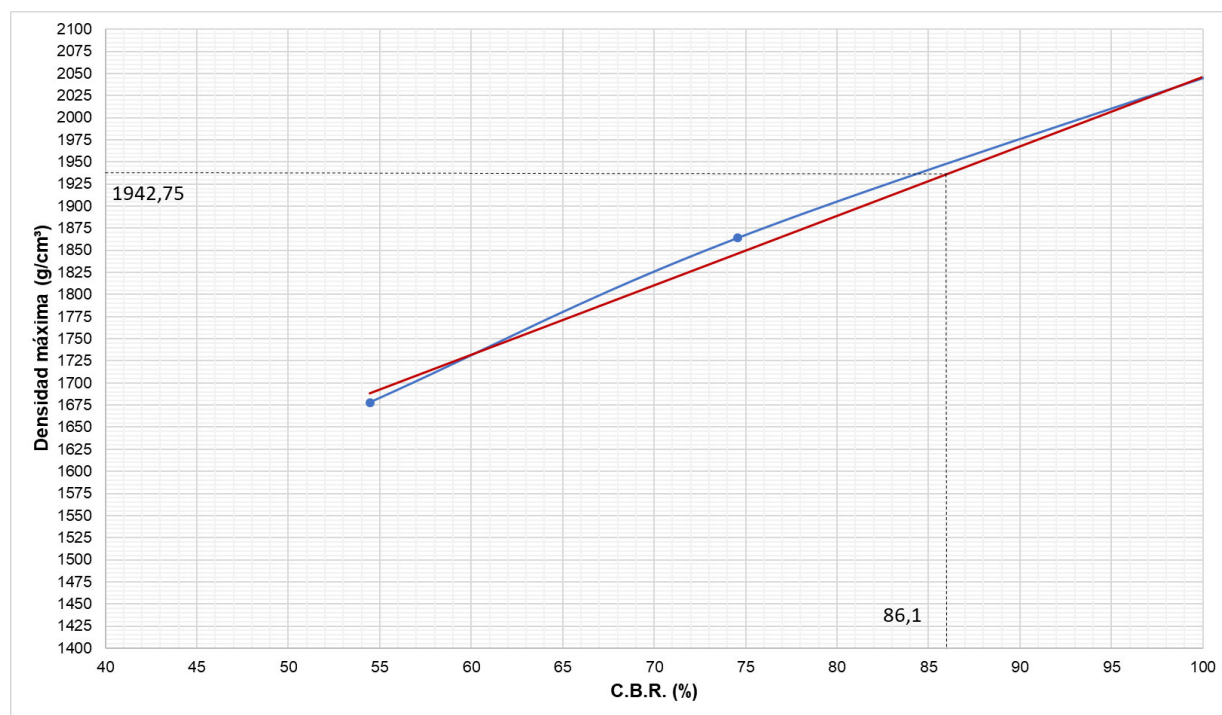


Tabla 3. 37. Valor C.B.R. BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Valor C.B.R.		
<b>Humedad óptima</b>	9,64	%
<b>Densidad máxima</b>	2045	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad máxima (95%)</b>	1942,75	g/cm <sup>3</sup>
<b>Valor C.B.R.</b>	<b>86,1</b>	%

Con los datos de presión y penetración hacemos la gráfica Presión vs Penetración como se indica en la Figura 3.20, para 56, 25 y 11 golpes.

Dibujamos una recta tangente en el punto con mayor pendiente para obtener los valores de carga corregidas para las penetraciones de 0.1 y 0.2 pulgadas en cada una de las curvas.

Con los datos de penetración Tabla 3.36 para 0.1 y 0.2 pulgadas, se saca el C.B.R. para cada uno, y se saca un promedio entre los dos, para 56, 25, 11 golpes.

Con los valores promedios de C.B.R. entre 0.1 y 0.2 pulgadas y las densidades secas para 56, 25, 11 golpes, se hace una gráfica como se indica en la Figura 3.21.

Con el valor de la densidad máxima corregida que proviene del 95% de la densidad máxima se traza una recta horizontal hasta que cruce con la línea de tendencia de la gráfica Densidad máxima vs C.B.R. y se baja una recta vertical desde el punto de cruce hasta encontrar el valor de C.B.R. como se indica en la Figura 3.21.

El valor que se obtiene es el número de C.B.R.

### 3.2.4. Resumen de resultados del C.B.R. de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 3. 38. Resumen de resultados del C.B.R. de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tipo	Densidad Máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Máxima (95%) (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad Óptima (%)	C.B.R. (%)
SUBBASE CLASE 1	1972	1873,4	9,81	77,8
SUBBASE CLASE 2	1988	1888,6	9,64	74,5
SUBBASE CLASE 3	1926	1829,7	10,9	70,2
BASE CLASE 1 TIPO A	2187	2077,65	10,06	99,2
BASE CLASE 2	2131	2024,45	9,95	95,2
BASE CLASE 3	2079	1975,05	10,29	89,5
BASE CLASE 4	2045	1942,75	9,64	86,1



## **CAPÍTULO 4. MÓDULO RESILIENTE**

El módulo de resiliencia es un ensayo que tiene como objetivo imitar las características físicas y los estados de esfuerzos de los materiales usados en sub-rasantes, sub-bases y bases que se utilizan en la estructura de una vía y mediante procesos analíticos encontrar la relación que existe entre el esfuerzo dinámico y la deformación producida por las cargas vehiculares de tráfico dinámico las cuales necesitan un módulo de elasticidad (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Este ensayo de módulo resiliente en suelos tiene como objetivo calcular la respuesta física a las deformaciones que van a tener las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento. Encontramos 2 tipos de deformaciones en la estructura vial por la acción de cargas vehiculares, la deformación resiliente o elástica por acción de cargas vehiculares que se recupera al instante en que desaparece la carga, y las deformaciones plásticas que permanecen en la estructura y se va acumulando. Cuando el material que es utilizado para las diferentes capas de base y sub-base tienen una deformación recuperable, se puede decir que tienen un comportamiento resiliente y técnicamente se define como la magnitud del esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial dividido entre la deformación axial recuperable (Instituto Mexicano de Transporte, 2001).

El módulo resiliente no es una característica propia del suelo, depende de otros factores que afectan este valor en materiales granulares:

- Tipo de material
- Tamaño del espécimen
- Tipo de compactación
- Peso específico
- Granulometría
- Magnitud del esfuerzo aplicado
- Contenido de agua.<sup>10</sup>

En la figura 4.1, se tiene una sección de la estructura del pavimento, sobre la cual se tiene una carga que se mueve constantemente.

En el estado de esfuerzos que sufre en el punto P en la figura 4.1 (a) actúan esfuerzos normales y esfuerzos cortantes, debido a la carga situada en el punto A.

Al mover la carga al punto B, no existen esfuerzos de corte y solo se encuentran presentes los esfuerzos normales como se indica en la figura 4.1 (b), en este punto

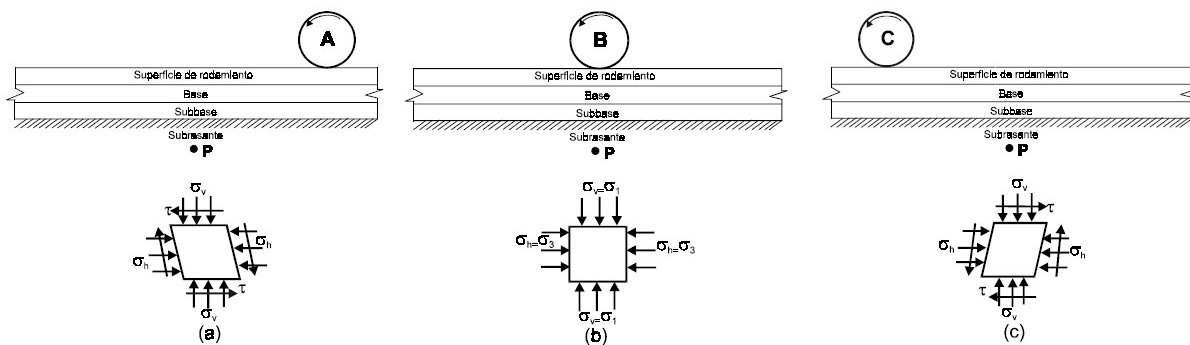
---

<sup>10</sup> Instituto Mexicano de Transporte. (2001). *Módulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares*. Sanfadila, México.

se tiene un estado triaxial de esfuerzos, ya que solo se presentan esfuerzos normales.

En el punto C, los esfuerzos cortantes son contrarios a la dirección de los esfuerzos que se generan en el punto A, como se indica en la figura 4.1 (c). La peor condición es la generada en el punto B, es por eso por lo que se realizan pruebas triaxiales en el laboratorio para simular esta condición desfavorable.

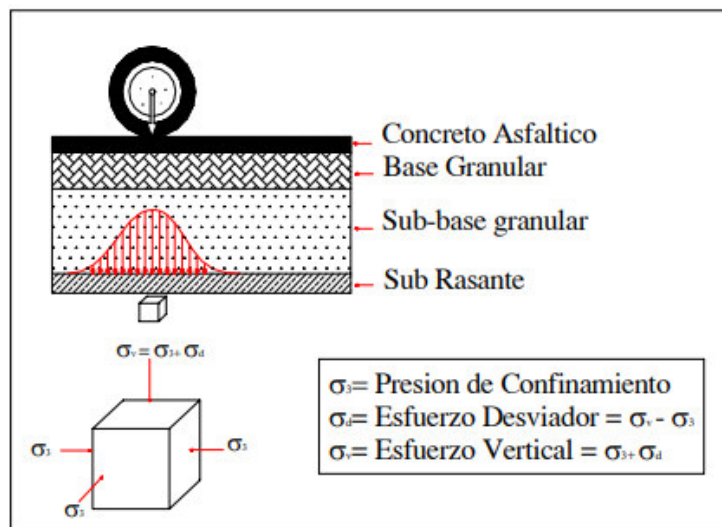
Figura 4. 1. Estados de esfuerzos en la sub-rasante



Fuente: Garnica Anguas, P., Pérez García, N., & Gómez López, J. A. (2001). Módulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares. Sanfandila, México.

Para entender de mejor manera los esfuerzos que se presentan en la estructura del pavimento se tiene la Figura 4.2:

Figura 4. 2. Estados de esfuerzos provocados en la sub-rasante por el paso de un vehículo en movimiento



Fuente: Limaymanta Mendoza, F. M., & Gutiérrez Lázares, W. (2003). Ensayo de Módulo Resiliente. Perú.

La deformabilidad en los materiales suele crecer hacia abajo, por lo que es necesario conocerla sobre todo en los niveles profundos ya que las capas superiores tengan niveles de deformaciones tolerables con la presencia de esfuerzos altos que actúan en la estructura del pavimento.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Garnica Anguas, P., Pérez García, N., & Gómez López, J. A. (2001). *Módulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares*. Sanfandila, México.

En 1948 Hveem y Carmany, consideraron que el módulo dinámico de elasticidad para sub-rasantes es un parámetro muy importante para comprender el agrietamiento por fatiga en las capas superiores del asfalto.

En la Universidad de California continuaron con lo establecido por Hveem, y el término de módulo dinámico de elasticidad fue cambiado por módulo resiliente el cual fue definido como la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial dividido entre la deformación axial recuperable y se representa de la siguiente manera:

$$Mr = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\epsilon_{axial}} = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{axial}}$$

Donde:

Mr: Módulo resiliente

$\sigma_1$ : Esfuerzo principal mayor

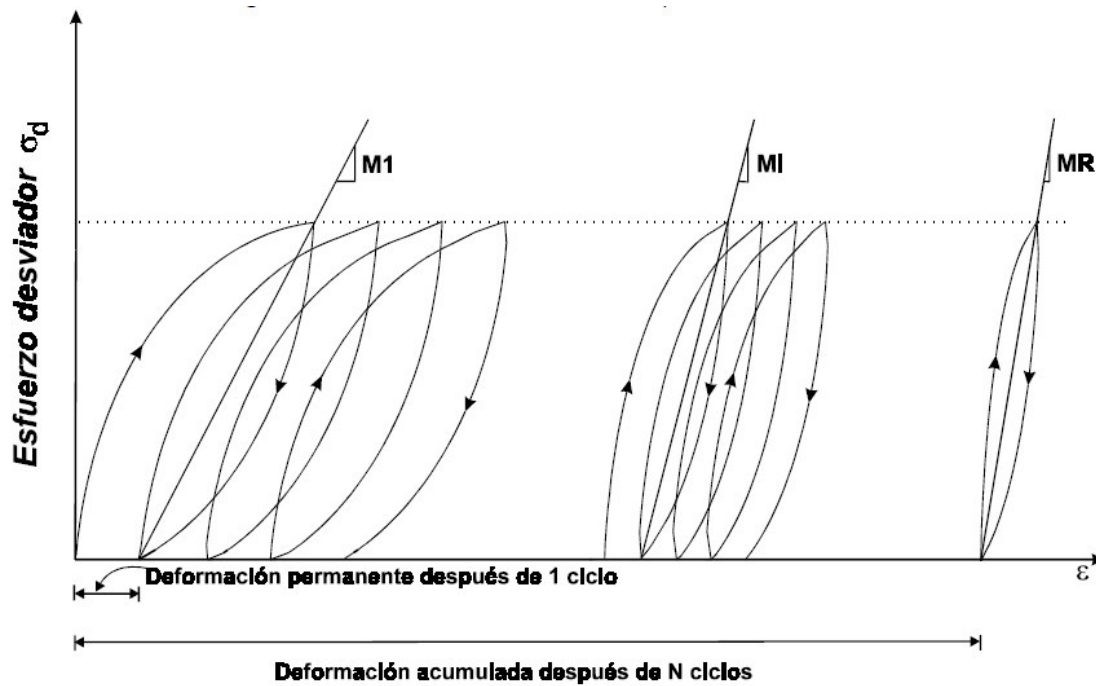
$\sigma_3$ : Esfuerzo principal menor

$\epsilon_{axial}$ : Deformación recuperable

En el proceso de número de ciclos de carga repetida, se puede observar que el módulo es constante, y se puede asumir que la respuesta del suelo es elástica, Al módulo que permanece constante se lo llama módulo de resiliencia como se indica

en la figura 4.2. Este concepto aplica para suelos finos y granulares (Instituto Mexicano de Transporte, 2001).

Figura 4. 3. Deformación acumulada con el número de aplicaciones del esfuerzo desviador



Fuente: Instituto Mexicano de Transporte. (2001). Módulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares. Sanfadila, México.

El módulo resiliente nos permite conocer que tan rígido es el material utilizado en el pavimento bajo cargas cíclicas. Para materiales granulares existen valores típicos teniendo en cuenta su clasificación.

Tabla 4. 1. Valores típicos de Mr para materiales granulares

Clasificación	Rango de Mr (psi)	Valor típico de Mr (psi)
A - 1 - a	38500 - 42000	40000
A - 1 - b	35500 - 40000	38000
A - 2 - 4	28000 - 37500	32000
A - 2 - 5	24000 - 33000	28000
A - 2 - 6	21500 - 31000	26000
A - 2 - 7	21500 - 28000	24000
A - 3	24500 - 35500	29000
A - 4	21500 - 29000	24000
A - 5	17000 - 25500	20000
A - 6	13500 - 24000	17000
A - 7 - 5	8000 - 17500	12000
A - 7 - 6	5000 - 13500	8000
CH	5000 - 13500	8000
MH	8000 - 17500	11500
CL	13500 - 24000	17000
ML	17000 - 25500	20000
SW	24000 - 33000	28000
SW - SC	21500 - 31000	25500
SW - SM	24000 - 33000	28000
SP - SC	21500 - 28000	25500
SP - SM	24000 - 33000	28000
SC	21500 - 28000	24000
SM	28000 - 37500	32000
GW	39500 - 42000	41000
GP	35500 - 40000	38000
GW - GC	28000 - 40000	34500
GW - GM	35500 - 40500	38500
GP - GM	31000 - 40000	36000
GC	24000 - 37500	31000
GM	33000 - 42000	38500

Fuente: Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño*. Colombia: ECOE.

Ciertos estudios del Módulo Resiliente y sus respectivos ensayos han logrado obtener correlaciones para obtenerlo mediante valores del C.B.R.

Estas ecuaciones de algunos autores son las siguientes:

1. Ecuación de Ullidtz (1987)

$$Mr(MPa) = 10 \times CBR(\%)^{0.7312}$$

Tabla 4. 2. Valores del Módulo Resiliente de BASES y SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) según la ecuación de Ullidtz

Tipo	C.B.R. (%)	Mr (Ullidtz) (MPa)	Mr (Ullidtz) (psi)
<b>SUBBASE CLASE 1</b>	77,8	240,11	34825
<b>SUBBASE CLASE 2</b>	74,5	232,63	33741
<b>SUBBASE CLASE 3</b>	70,2	222,75	32308
<b>BASE CLASE 1 TIPO A</b>	99,2	286,72	41585
<b>BASE CLASE 2</b>	95,2	278,23	40354
<b>BASE CLASE 3</b>	89,5	265,97	38576
<b>BASE CLASE 4</b>	86,1	258,55	37500

2. Ecuación usada en Chile

$$Mr \left( \frac{lb}{pulg^2} \right) = 3220 \times CBR(\%)^{0.5513}$$

---

<sup>12</sup> Higuera Sandoval, C. H. (1989). *Correlaciones CBR - Módulo Resiliente*. Colombia.

<sup>13</sup> Higuera Sandoval, C. H. (1989). *Correlaciones CBR - Módulo Resiliente*. Colombia.



Tabla 4. 3. Valores del Módulo Resiliente de BASES y SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) según la ecuación utilizada en Chile

Tipo	C.B.R. (%)	Mr (Chile) (MPa)	Mr (Chile) (psi)
SUBBASE CLASE 1	77,8	243	35310
SUBBASE CLASE 2	74,5	238	34478
SUBBASE CLASE 3	70,2	230	33369
BASE CLASE 1 TIPO A	99,2	278	40359
BASE CLASE 2	95,2	272	39455
BASE CLASE 3	89,5	263	38138
BASE CLASE 4	86,1	257	37334

### 3. Ecuación del Programa PAS

$$Mr_{bg} \left( \frac{lb}{pulg^2} \right) = 321.05 \times CBR(\%) + 13327 \quad CBR > 80\%$$

$$Mr_{sb} \left( \frac{lb}{pulg^2} \right) = 385.08 \times CBR(\%) + 8660 \quad CBR \leq 80\%$$

Fuente: Pavement Analysis System. (1984). Asociación Americana de Pavimentos de Concreto de Estados Unidos. Estados Unidos.

Tabla 4. 4. Valores del Módulo Resiliente de BASES y SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) según la ecuación del programa PAS

Tipo	C.B.R. (%)	Mr (PAS)		Mr (PAS) (psi)	
		Mr (sb) (MPa)	Mr (bs) (MPa)	Mr (sb) (psi)	Mr (bs) (psi)
SUBBASE CLASE 1	77,8	264,10		38304,69	
SUBBASE CLASE 2	74,5	256,80		37245,23	
SUBBASE CLASE 3	70,2	247,28		35864,71	
BASE CLASE 1 TIPO A	99,2		323,09		46859,94
BASE CLASE 2	95,2		312,47		45319,62
BASE CLASE 3	89,5		297,33		43124,66
BASE CLASE 4	86,1		288,31		41815,39

#### 4. Ecuación de TRRL (Transport Road Laboratory)

$$Mr (MPa) = 18 \times CBR(\%)^{0.64}$$

Fuente: Transport Road Laboratory. (1984). *Transport Road Laboratory*. Lister - New York, Estados Unidos.

Tabla 4. 5. Valores del Módulo Resiliente de BASES y SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) según la ecuación de TRRL

Tipo	C.B.R. (%)	Mr (TRRL) Lister (Mpa)	Mr (TRRL) Lister (psi)
<b>SUBBASE CLASE 1</b>	77,8	292	42362
<b>SUBBASE CLASE 2</b>	74,5	284	41204
<b>SUBBASE CLASE 3</b>	70,2	273	39665
<b>BASE CLASE 1 TIPO A</b>	99,2	341	49490
<b>BASE CLASE 2</b>	95,2	332	48204
<b>BASE CLASE 3</b>	89,5	319	46336
<b>BASE CLASE 4</b>	86,1	312	45202

Para la obtención del Módulo Resiliente real de la mina en estudio se procederá a ensayar el material como indica la norma AASHTO T 307-99 (2012).

#### 4.1. Ensayo de Módulo Resiliente

Para realizar el ensayo de Módulo Resiliente se procede de la siguiente manera:

- Para el propósito de las pruebas de módulo elástico, el material Tipo 1 incluye toda base granular no tratada y material de sub-base y todos los suelos de sub-rasante no tratados que cumplen los criterios de menos del 70 por ciento pasando el tamiz de 2.00 mm (N. ° 10) y menos del 20 por

ciento pasando el tamiz de 75 m (N. ° 200) y tener un índice de plasticidad de 10 o menos. Los suelos clasificados como Tipo 1 se moldearán en un molde de 152 mm de diámetro y 381 mm de altura.

- Debemos conocer que la carga axial máxima aplicada ( $P_{max}$ ) es la carga total aplicada a la muestra, incluidas las cargas de contacto y cíclicas (elásticas). La carga de contacto ( $P_{contacto}$ ) es la carga vertical colocada sobre la muestra para mantener un contacto positivo entre la tapa de la muestra y la muestra.

$$P_{contacto} = 0.1 P_{máx}$$

- Se aplica una tensión cíclica axial repetida de magnitud fija, duración de la carga (0,1 s) y duración del ciclo (1,0 a 3,1 s) a una muestra de prueba cilíndrica. Durante la prueba, la muestra se somete a una tensión cíclica dinámica y a una tensión de confinamiento estático proporcionada por medio de una cámara de presión triaxial. La respuesta de deformación axial resiliente (recuperable) total de la muestra se mide y se usa para calcular el módulo elástico.

Tabla 4. 6. Esfuerzo de confinamiento para el ensayo de Módulo Resiliente

	Esfuerzo de confinamiento $\sigma_3$ (kPA)				
	21	35	69	103	138
Esfuerzo desviador	21	35	69	69	103
	41	69	138	103	138
$\sigma_d$ (kPA)	62	103	207	207	276

Fuente: Jimenez Acuña, M. (2009). Implementación del ensayo de Módulo Resiliente en Bases granulares para pavimentos. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.

- La cámara de presión triaxial se utiliza para contener la muestra de prueba y el fluido de confinamiento durante la prueba.
- Tomamos 15 kg de material ya tamizado que pase el tamiz  $\frac{3}{4}$  y se procede a humedecerlo contando con la humedad óptima.
- En el cilindro colocamos una membrana para que confine el agregado y se pone el material tratando de formar 5 capas, las cuales se van compactando una por una con el roto martillo con una entrada nominal de 750 a 1250 vatios y capacidad de 1800 a 3000 golpes por minuto. Es importante escarificar cada capa para que la compactación sea adecuada.
- Colocar un filtro de papel húmedo y la placa superior que contiene una piedra húmeda porosa en la muestra, doblar la membrana y sellar la placa superior con una junta tórica u otro sello de presión.
- Conectar la línea de suministro de presión de la cámara y aplicar una presión de confinamiento de 103.4 kPa.
- Colocar una piedra húmeda porosa y un filtro de papel húmedo en la parte superior de la base de la muestra de la cámara triaxial.
- Colocar la membrana sobre un expansor de membrana, aplicar vacío a este para eliminar aire introducido, luego colocar cuidadosamente la membrana sobre la muestra y retirar el vacío y el expansor de membrana.
- Conecte la línea de suministro de presión de la cámara y aplique una presión de confinamiento de 103.4 kPa.

- Retirar el suministro de vacío de la entrada de saturación de vacío y abrir los puertos de drenaje superior e inferior de la cabeza a la presión atmosférica.
- Ajustar la posición del dispositivo de carga axial o del soporte de la base de la cámara triaxial según sea necesario para acoplar el pistón del dispositivo de generación de carga y el pistón de la cámara triaxial.
- Se mantendrá un esfuerzo de contacto del 10 por ciento  $\pm 0.7$  kPa del esfuerzo axial máximo aplicado durante cada número de secuencia.
- Ajustar los dispositivos de grabación para los LVDT y cargar la celda según sea necesario.
- Establecer la presión de confinamiento a 103.4 kPa y aplicar un mínimo de 500 repeticiones de una carga equivalente a una tensión axial máxima de 103.4 kPa y la tensión axial cíclica correspondiente de 93.1 kPa según la secuencia 0, Tabla 4.7, se deben completar 1000 repeticiones.
- Si la tensión permanente vertical total alcanza el 5 por ciento durante el acondicionamiento, el proceso de acondicionamiento se terminará.
- Se procede a realizar las demás secuencias, Si en algún momento la deformación de tensión permanente vertical total supera el 5 por ciento, detenga la prueba y haga una anotación en el formulario de informe.
- Al completar la prueba de corte triaxial, se reduce la presión de confinamiento a cero y retire la muestra de la cámara triaxial.

Tabla 4. 7. Pruebas de secuencias para materiales de base / sub-base

Secuencia No.	Presión de Confinamiento (S3)		Max. Tensión Axial (Smax)		Tensión Cíclica (Scíclica)		Tensión Constante 0,1 Smax		No. de aplicaciones de carga
	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	
0	103,4	15	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	500 - 1000
1	20,7	3	20,7	3	18,6	2,7	2,1	0,3	100
2	20,7	3	41,4	6	37,3	5,4	4,1	0,6	100
3	20,7	3	62,1	9	55,9	8,1	6,2	0,9	100
4	34,5	5	34,5	5	31	4,5	3,5	0,5	100
5	34,5	5	68,9	10	62	9	6,9	1	100
6	34,5	5	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	100
7	68,9	10	68,9	10	62	9	6,9	1	100
8	68,9	10	137,9	20	124,1	18	13,8	2	100
9	68,9	10	206,8	30	186,1	27	20,7	3	100
10	103,4	15	68,9	10	62	9	6,9	1	100
11	103,4	15	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	100
12	103,4	15	206,8	30	186,1	27	20,7	3	100
13	137,9	20	103,4	15	93,1	13,5	10,3	1,5	100
14	137,9	20	137,9	20	124,1	18	13,8	2	100
15	137,9	20	275,8	40	248,2	36	27,6	4	100

Fuente: AASHTO. (2012). AASHTO T307-99 - Determinación del Módulo Resiliente de suelos y materiales de agregado. Washington, Estados Unidos.

- Se procede a revisar resultados.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> AASHTO. (2012). AASHTO T307-99 - Determinación del Módulo Resiliente de suelos y materiales de agregado. Washington, Estados Unidos.

#### 4.1.2. Resultados

### SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 4. 8. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
310,5	153,5

Secuencia	$\sigma$ conf. (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,20	0,1094	352,2	258,94
1	20,7	19,2	1,9	17,30	0,0356	114,5	151,10
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,0793	255,4	138,61
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,0979	315,3	172,22
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0545	175,6	170,27
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1069	344,2	174,61
6	34,5	101,7	10,7	91	0,1512	486,9	186,90
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,0941	303,2	200,53
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,1766	568,7	216,46
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2245	723,1	254,87
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,0890	286,6	212,14
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1345	433,2	212,83
12	103,4	240,9	19,9	221	0,2881	928	238,15
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1176	378,9	239,38
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1497	482,1	253,06
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2767	891,2	<b>278,50</b>

Tabla 4. 9. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
310,34	153

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1105	356,2	256,04
1	20,7	19,1	1,9	17,2	0,0449	144,69	118,87
2	20,7	39,6	4,3	35,3	0,0857	276,3	127,76
3	20,7	60,3	6,1	54,2	0,1134	365,4	148,33
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0622	200,3	149,28
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1178	379,6	158,32
6	34,5	101,7	10,7	91	0,1627	524,3	173,56
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1000	322,1	188,76
8	68,9	136,1	13,1	123	0,1856	598,1	205,65
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2587	833,6	221,09
10	103,4	68	7,3	60,7	0,0945	304,6	199,28
11	103,4	102,6	10,6	92	0,1370	441,3	208,47
12	103,4	240,9	19,9	221	0,2562	825,5	267,72
13	137,9	101,5	11,1	90,4	0,1245	401,3	225,27
14	137,9	136,4	14,6	121,8	0,1595	514,1	236,92
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2698	869,3	<b>285,52</b>



Tabla 4. 10. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 1 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
310,24	153

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1013	326,5	279,33
1	20,7	19,1	1,9	17,2	0,0476	153,3	112,20
2	20,7	39,6	4,3	35,3	0,0898	289,5	121,93
3	20,7	60,3	6,1	54,2	0,1102	355,3	152,55
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0704	226,8	131,83
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1202	387,4	155,14
6	34,5	101,7	10,7	91	0,1586	511,2	178,01
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,0950	306,1	198,63
8	68,9	136,1	13,1	123	0,1793	577,8	212,88
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2607	840,3	219,33
10	103,4	68	7,3	60,7	0,0985	317,6	191,12
11	103,4	102,6	10,6	92	0,1322	426,1	215,91
12	103,4	240,9	19,9	221	0,2586	833,6	265,12
13	137,9	101,5	11,1	90,4	0,1350	435,2	207,72
14	137,9	136,4	14,6	121,8	0,1644	529,8	229,90
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2654	855,6	<b>290,09</b>

## SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas):

Tabla 4. 11. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
310,41	153,5

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1289	415,2	219,65
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0479	154,3	112,12
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1043	336,1	105,33
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1642	528,9	102,67
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0882	284,3	105,17
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1586	510,8	117,66
6	34,5	101,7	10,7	91	0,2159	695,4	130,86
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1320	425,1	143,03
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2343	754,9	163,07
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2962	954,3	193,13
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,1163	374,7	162,26
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1680	541,2	170,36
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3058	985,3	224,30
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1519	489,2	185,40
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1627	524,3	232,69
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2842	915,5	<b>271,11</b>

Tabla 4. 12. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
309,64	153

Secuencia	$\sigma$ conf. (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1222	394,6	231,12
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0553	178,5	96,92
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1067	344,6	102,73
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1668	538,7	100,80
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0924	298,3	100,23
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1623	524,3	114,63
6	34,5	101,7	10,7	91	0,2035	657,2	138,47
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1379	445,2	136,57
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2444	789,3	155,96
9	68,9	205	20,7	184,3	0,3060	988,1	186,52
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,1196	386,2	157,43
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1779	574,6	160,46
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3038	981,3	225,21
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1415	456,9	198,51
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1718	554,8	219,90
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2834	915,2	<b>271,20</b>

Tabla 4. 13. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
309,42	153,5

Secuencia	$\sigma$ conf. (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1272	411,2	221,79
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0570	184,3	93,87
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1128	364,5	97,12
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1681	543,2	99,96
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0977	315,9	94,65
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1685	544,7	110,34
6	34,5	101,7	10,7	91	0,2129	688,1	132,25
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1483	479,3	126,85
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2474	799,4	153,99
9	68,9	205	20,7	184,3	0,3017	975,1	189,01
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,1202	388,6	156,46
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1852	598,6	154,03
12	103,4	240,9	19,9	221	0,2952	954,2	231,61
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1512	488,5	185,67
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1777	574,3	212,43
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2708	875,3	<b>283,56</b>

### SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas):

Tabla 4. 14. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
309,56	153,5

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1141	368,7	247,36
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0412	133,2	129,88
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,0975	315,1	112,35
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1508	487,3	111,43
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0729	235,6	126,91
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1477	477,2	125,94
6	34,5	101,7	10,7	91	0,1936	625,3	145,53
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1231	397,5	152,96
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2203	711,6	172,99
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2793	902,4	204,23
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,1005	324,8	187,19
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1503	485,6	189,87
12	103,4	240,9	19,9	221	0,2834	915,6	241,37
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1342	433,4	209,28
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1505	486,2	250,93
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2891	933,8	<b>265,80</b>

Tabla 4. 15. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente SUB- BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
310,34	153

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1203	387,6	235,29
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0327	105,3	164,29
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,0914	294,5	120,20
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1345	433,5	125,26
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0697	224,6	133,13
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1371	441,9	136,00
6	34,5	101,7	10,7	91	0,1897	611,3	148,86
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1110	357,8	169,93
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2126	685,1	179,68
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2752	886,9	207,80
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,0944	304,2	199,87
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1389	447,6	205,99
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3247	1046,2	211,24
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1226	395,2	229,50
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1590	512,3	238,14
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,3090	995,8	<b>249,25</b>

Tabla 4. 16. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente SUB-BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
310,27	153,5

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1330	428,7	212,74
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0303	97,6	177,25
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,0793	255,6	138,50
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1256	404,7	134,17
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0607	195,6	152,86
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1322	426,1	141,05
6	34,5	101,7	10,7	91	0,1823	587,6	154,87
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,0966	311,2	195,37
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2001	644,8	190,91
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2610	841,3	219,07
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,0861	277,6	219,02
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1294	417,2	221,00
12	103,4	240,9	19,9	221	0,2780	896,1	246,62
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1192	384,2	236,07
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1421	457,9	266,43
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,3464	1116,3	<b>222,34</b>

**BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas):**

Tabla 4. 17. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
310,33	153

Secuencia	$\sigma$ conf. (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1228	395,6	230,54
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0451	145,2	119,15
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,0979	315,4	112,24
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1309	421,8	128,73
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0882	284,3	105,17
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1006	324,1	185,44
6	34,5	101,7	10,7	91	0,1949	628,1	144,88
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1176	379,1	160,38
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2251	725,3	169,72
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2623	845,3	218,03
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,0913	294,2	206,66
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1308	421,5	218,74
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3110	1002,3	220,49
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1099	354,2	256,07
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1404	452,3	269,73
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2434	784,4	<b>316,42</b>



Tabla 4. 18. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
310,22	153,5

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1089	351,2	259,68
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0377	121,5	142,39
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,0913	294,2	120,33
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1165	375,6	144,57
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0702	226,3	132,13
5	34,5	67,1	7	60,1	0,0966	311,5	192,94
6	34,5	101,7	10,7	91	0,1896	611,3	148,86
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1090	351,4	173,02
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2153	694,1	177,35
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2530	815,6	225,97
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,0888	286,3	212,36
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1068	344,2	267,87
12	103,4	240,9	19,9	221	0,2513	810,2	272,77
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,0969	312,2	290,52
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1161	374,2	326,03
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2470	796,3	<b>311,69</b>

Tabla 4. 19. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente BASE CLASE 1 TIPO A de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
309,76	153,5

Secuencia	$\sigma$ conf. (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1141	368,2	247,69
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0487	157,2	110,05
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1033	333,4	106,18
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1235	398,7	136,19
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0812	262,1	114,08
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1066	344,2	174,61
6	34,5	101,7	10,7	91	0,2010	648,9	140,24
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1169	377,3	161,14
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2245	724,6	169,89
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2575	831,3	221,70
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,0902	291,2	208,79
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1159	374,3	246,33
12	103,4	240,9	19,9	221	0,2605	841,1	262,75
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,0961	310,2	292,39
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1277	412,1	296,04
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2436	786,5	<b>315,58</b>

## BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas):

Tabla 4. 20. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
309,68	153,5

Secuencia	$\sigma$ conf. (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1286	415,2	219,65
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0484	156,3	110,68
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1004	324,2	109,19
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1397	451,2	120,35
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0918	296,3	100,91
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1067	344,5	174,46
6	34,5	101,7	10,7	91	0,2010	648,9	140,24
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1221	394,2	154,24
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2322	749,7	164,20
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2673	863,1	213,53
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,0988	319,2	190,48
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1413	456,3	202,06
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3135	1012,3	218,31
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1234	398,5	227,60
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1506	486,2	250,93
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2510	810,6	<b>306,19</b>

Tabla 4. 21. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
310,27	153

Secuencia	$\sigma$ conf. (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,0997	321,2	283,94
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0383	123,3	140,31
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,0966	311,2	113,75
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1346	433,8	125,17
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0811	261,4	114,38
5	34,5	67,1	7	60,1	0,0999	321,9	186,70
6	34,5	101,7	10,7	91	0,1977	637,2	142,81
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1143	368,3	165,08
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2240	722,1	170,48
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2595	836,3	220,38
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,0966	311,2	195,37
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1310	422,1	218,43
12	103,4	240,9	19,9	221	0,2967	956,3	231,10
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1093	352,2	257,52
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1276	411,2	296,69
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2527	814,3	<b>304,80</b>

Tabla 4. 22. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente BASE CLASE 2 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
309,81	153,5

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1061	342,5	266,28
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0421	135,9	127,30
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1070	345,3	102,52
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1429	461,2	117,74
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0882	284,6	105,06
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1135	366,2	164,12
6	34,5	101,7	10,7	91	0,2021	652,2	139,53
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1200	387,4	156,94
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2371	765,3	160,85
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2615	844,2	218,31
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,1059	341,8	177,88
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1352	436,5	211,23
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3031	978,5	225,86
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1135	366,5	247,48
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1329	428,9	284,45
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2495	805,3	<b>308,21</b>

### BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas):

Tabla 4. 23. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
309,72	153,5

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1370	442,3	206,19
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0553	178,6	96,86
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1057	341,3	103,72
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1339	432,2	125,64
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0863	278,6	107,32
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1005	324,5	185,21
6	34,5	101,7	10,7	91	0,1955	631,2	144,17
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1159	374,2	162,48
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2216	715,6	172,02
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2554	824,5	223,53
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,0946	305,3	199,15
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1340	432,6	213,13
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3053	985,6	224,23
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1005	324,6	279,42
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1305	421,3	289,58
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2559	826,3	<b>300,38</b>

Tabla 4. 24. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
310,15	153

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1415	456,2	199,91
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0587	189,3	91,39
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1109	357,6	98,99
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1415	456,2	119,03
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0899	289,9	103,14
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1072	345,6	173,90
6	34,5	101,7	10,7	91	0,2023	652,2	139,53
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1198	386,4	157,35
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2280	735,2	167,44
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2594	836,5	220,32
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,1006	324,2	187,54
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1390	448,2	205,71
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3080	993,2	222,51
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1041	335,6	270,26
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1371	442,1	275,96
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2533	816,6	<b>303,94</b>

Tabla 4. 25. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente BASE CLASE 3 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
309,94	153,5

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1340	432,2	211,01
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0541	174,6	99,08
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1062	342,8	103,27
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1309	422,5	128,52
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0856	276,1	108,29
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1030	332,4	180,81
6	34,5	101,7	10,7	91	0,1963	633,5	143,65
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1089	351,2	173,12
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2207	712,2	172,84
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2515	811,6	227,08
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,0938	302,5	200,99
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1308	421,9	218,54
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3021	974,6	226,76
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1042	336,2	269,78
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1306	421,3	289,58
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2541	819,8	<b>302,76</b>



### BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas):

Tabla 4. 26. Ensayo No.1 - Módulo Resiliente BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
309,31	153

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1513	489,2	186,43
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0650	210,2	82,30
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1197	386,9	91,50
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1479	478,2	113,55
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0932	301,2	99,27
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1102	356,3	168,68
6	34,5	101,7	10,7	91	0,2116	684,1	133,02
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1247	403,2	150,79
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2339	756,2	162,79
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2648	856,2	215,25
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,1109	358,4	169,64
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1471	475,6	193,86
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3122	1009,2	218,99
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1107	357,8	253,49
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1419	458,9	265,85
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2584	835,3	<b>297,14</b>

Tabla 4. 27. Ensayo No.2 - Módulo Resiliente BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
310,17	153,5

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1527	492,3	185,25
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0707	227,8	75,94
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1227	395,6	89,48
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1546	498,3	108,97
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,1009	325,4	91,89
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1161	374,3	160,57
6	34,5	101,7	10,7	91	0,2166	698,4	130,30
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1322	426,1	142,69
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2401	774,2	159,00
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2711	874,1	210,85
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,1153	371,6	163,62
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1494	481,6	191,45
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3182	1025,8	215,44
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1165	375,6	241,48
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1468	473,2	257,82
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2623	845,6	<b>293,52</b>

Tabla 4. 28. Ensayo No.3 - Módulo Resiliente BASE CLASE 4 de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Altura (mm)	Diámetro (mm)
309,68	153,5

Secuencia	$\sigma_{conf.}$ (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	MR (MPa)
0	103,4	101,3	10,1	91,2	0,1462	472,1	193,18
1	20,7	19,2	1,9	17,3	0,0652	210,6	82,15
2	20,7	39,7	4,3	35,4	0,1160	374,6	94,50
3	20,7	60,4	6,1	54,3	0,1461	471,9	115,07
4	34,5	33,3	3,4	29,9	0,0964	311,2	96,08
5	34,5	67,1	7	60,1	0,1092	352,6	170,45
6	34,5	101,7	10,7	91	0,2049	661,7	137,52
7	68,9	67,5	6,7	60,8	0,1280	413,2	147,14
8	68,9	136,2	13,1	123,1	0,2327	751,4	163,83
9	68,9	205	20,7	184,3	0,2619	845,6	217,95
10	103,4	68,1	7,3	60,8	0,1092	352,7	172,38
11	103,4	102,8	10,6	92,2	0,1454	469,6	196,34
12	103,4	240,9	19,9	221	0,3098	1000,5	220,89
13	137,9	101,8	11,1	90,7	0,1113	359,5	252,29
14	137,9	136,6	14,6	122	0,1411	455,7	267,72
15	137,9	276,5	28,3	248,2	0,2569	829,5	<b>299,22</b>

#### 4.2. Resumen de resultados del Módulo Resiliente de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 4. 29. Resumen de resultados del Módulo Resiliente de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tipo	Mr 1 (Mpa)	Mr 1 (psi)	Mr 2 (Mpa)	Mr 2 (psi)	Mr 3 (Mpa)	Mr 3 (psi)
SUBBASE CLASE 1	278,5	40393,08	285,52	41411,25	290,09	42074,07
SUBBASE CLASE 2	271,2	39334,31	283,56	41126,98	271,11	39321,25
SUBBASE CLASE 3	249,25	36150,72	222,34	32247,75	265,8	38551,1
BASE CLASE 1 TIPO A	311,69	45206,89	315,58	45771,09	316,42	45892,92
BASE CLASE 2	304,8	44207,58	308,21	44702,16	306,19	44409,19
BASE CLASE 3	303,94	44082,85	302,76	43911,7	300,38	43566,51
BASE CLASE 4	297,14	43096,59	293,52	42571,55	299,22	43398,27

## CAPÍTULO 5. CORRELACIÓN DEL C.B.R. CON EL MÓDULO RESILIENTE

Con los resultados obtenidos en el laboratorio, tanto para el C.B.R. y el Módulo Resiliente podemos obtener una correlación, la cual nos permite obtener los valores del Módulo Resiliente (MPa) a través de valores del C.B.R. (%) con la formulación de una ecuación empírica.

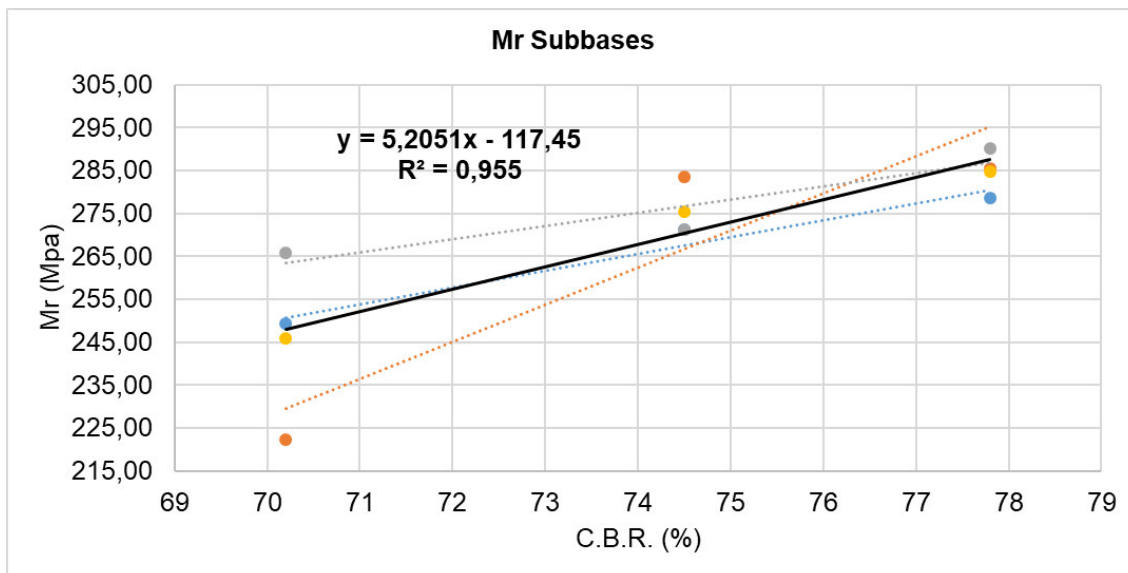
Se obtiene una ecuación que sirve para Módulos Resilientes para bases y sub-bases de la mina de Copeto – Santo domingo de los Tsáchilas, a partir del valor C.B.R.

### ***5.1. Correlación del C.B.R. y el Módulo Resiliente para SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)***

Tabla 5. 1. Valores de C.B.R. y Módulo Resiliente de SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

<b>Tipo</b>	<b>C.B.R. (%)</b>	<b>Mr 1 (MPa)</b>	<b>Mr 2 (MPa)</b>	<b>Mr 3 (MPa)</b>
<b>SUBBASE CLASE 1</b>	77,8	278,50	285,52	290,09
<b>SUBBASE CLASE 2</b>	74,5	271,20	283,56	271,11
<b>SUBBASE CLASE 3</b>	70,2	249,25	222,34	265,80

Figura 5. 1. Ecuación de Módulo Resiliente para SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)



La ecuación que se obtiene para SUB-BASES ES LA SIGUIENTE:

$$Mr (MPa) = 5.2051 \times C.B.R. (\%) - 117.45$$

Tabla 5. 2. Módulo Resiliente para SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) obtenidos a partir de la ecuación de la correlación

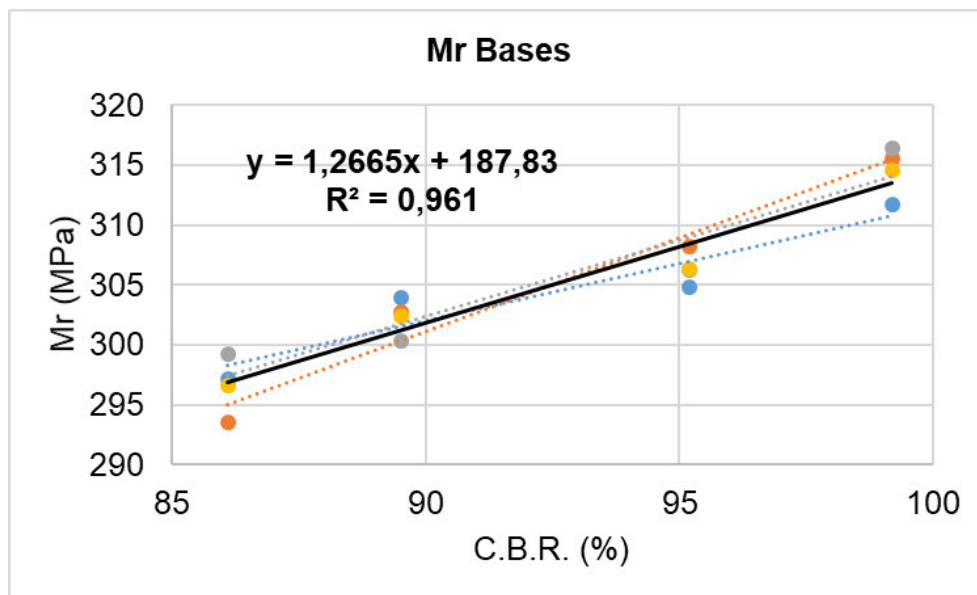
Tipo	C.B.R. (%)	Mr correlación (Mpa)	Mr correlación (psi)
SUBBASE CLASE 1	77,8	287,51	41699,41
SUBBASE CLASE 2	74,5	270,33	39208,12
SUBBASE CLASE 3	70,2	247,95	35961,88

## 5.2. Correlación del C.B.R. y el Módulo Resiliente para BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tabla 5. 3. Valores de C.B.R. y Módulo Resiliente de SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)

Tipo	C.B.R. (%)	Mr 1 (MPa)	Mr 2 (MPa)	Mr 3 (MPa)
BASE CLASE 1 TIPO A	99,2	311,69	315,58	316,42
BASE CLASE 2	95,2	304,8	308,21	306,19
BASE CLASE 3	89,5	303,94	302,76	300,38
BASE CLASE 4	86,1	297,14	293,52	299,22

Figura 5. 2. Ecuación de Módulo Resiliente para BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas)



La ecuación que se obtiene para la BASE es la siguiente:

$$Mr (MPa) = 1.2665 \times C.B.R. (\%) + 187.83$$

Tabla 5. 4. Módulo Resiliente para SUB-BASES de la Mina de Copeto (Santo Domingo de los Tsáchilas) obtenidos a partir de la ecuación de la correlación

Tipo	C.B.R. (%)	Mr correlación (Mpa)	Mr correlación (psi)
BASE CLASE 1 TIPO A	99,2	313,47	45464,60
BASE CLASE 2	95,2	308,40	44729,84
BASE CLASE 3	89,5	301,18	43682,80
BASE CLASE 4	86,1	296,88	43058,25

### 5.3. Comparación de valores del Módulo Resiliente obtenidos por la ecuación de correlación y valores de distintos autores

Tabla 5. 5. Comparación de valores del Módulo Resiliente obtenidos por la ecuación de correlación y valores de distintos autores

Tipo	C.B.R. (%)	Mr (Ullidtz) (MPa)	Mr (Ullidtz) (psi)	Mr (TRRL) (Mpa)	Mr (TRRL) (psi)	Mr (Chile) (MPa)	Mr (Chile) (psi)	Mr (PAS) (psi)		Mr (PAS) (psi)		Mr correlación (Mpa)	Mr correlación (psi)
								Mr (sbgr) (MPa)	Mr (bsgr) (MPa)	Mr (sbgr) (psi)	Mr (bsgr) (psi)		
SUBBASE CLASE 1	77,8	240,11	34825,46	292,08	42362,47	243,45	35309,75	264,10		38304,69		287,51	41699,41
SUBBASE CLASE 2	74,5	232,63	33740,84	284,09	41203,52	237,72	34477,98	256,80		37245,23		270,33	39208,12
SUBBASE CLASE 3	70,2	222,75	32307,84	273,48	39665,24	230,07	33368,85	247,28		35864,71		247,95	35961,88
BASE CLASE 1 TIPO A	99,2	286,72	41584,87	341,22	49490,49	278,26	40358,71		323,09		46859,94	313,47	45464,60
BASE CLASE 2	95,2	278,23	40354,02	332,35	48203,88	272,03	39455,38		312,47		45319,62	308,40	44729,84
BASE CLASE 3	89,5	265,97	38575,59	319,48	46336,27	262,95	38138,06		297,33		43124,66	301,18	43682,80
BASE CLASE 4	86,1	258,55	37500,24	311,66	45201,86	257,41	37334,26		288,31		41815,39	296,88	43058,25



#### 5.4. Diseño de las capas Base y Sub-base con C.B.R. y Módulo Resiliente con el método AASHTO 1993

Para el diseño de las capas de sub-base y base de una vía, se tomaron los valores utilizados en “Villafuerte Bermúdez, L. E., & Ortega Calle, K. G. (2015). Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos de tipo limo arenoso. Quito, Ecuador”.

1. Para el diseño vial se necesita el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) que se lo hace por conteo vehicular.

Tabla 5. 6. Tráfico Promedio Anual (TPDA)

Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)			
Livianos	Buses	Pesados	Total
171	15	142	328
TPDA			328

Fuente: Villafuerte Bermúdez, L. E., & Ortega Calle, K. G. (2015). *Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos de tipo limo arenoso*. Quito, Ecuador.

2. La vía por diseñarse es una Autopista ubicada en el sector rural, entonces el nivel de confianza que se va a utilizar es **C = 90%**.

Tabla 5. 7. Nivel de confianza según la clasificación funcional de una vía

Clasificación Funcional	Nivel de confianza recomendados	
	Urbano	Rural
Interestatal y Autopista	85 - 99,9	80 - 99,9
Arteria Principales	80 - 99	75 - 95
Calles Colectoras	80 - 95	75 - 95
Calles Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

3. Se determina le valor de la desviación estándar, en este caso **So = 0.44**

Tabla 5. 8. Valores recomendados para la variación estándar So

Valores recomendados para la desviación estándar So	
Condición dediseño	Desviación estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0,25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0,35 - 0,50 (0,45 valor recomendado)

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

























4. Se determina la distribución de tráfico de la vía. Para esto se necesita conocer el valor del TPDA y tener en cuenta el número de contadores, al tener un solo contador para ambos sentidos se toma el 50% del TPDA, y si se tiene dos contadores uno para cada sentido se toma el 100% del mayor TPDA entre los dos sentidos, (Villafuerte Bermúdez & Ortega Calle, 2015).

**Distribución de tráfico (Dt) = 50%**

**Dt = 0.5**

5. El período de diseño lo define el contratante, en este caso el período de diseño **n = 10 años.**
6. Se toma como tasa de crecimiento el **i = 3%**
7. De acuerdo el vehículo asignamos un tipo basándose en la Tabla 5.9.

Tabla 5. 9. Tipos de vehículos motorizados, remolques y semirremolques

CUADRO DEMOSTRATIVO DEL TIPO DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES								
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN			PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
						Largo	Ancho	Alto
2 D				CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	7	5,00	2,60	3,00
2DA				CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS	10	7,50	2,60	3,50
2DB				CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES	18	12,20	2,60	4,10
3-A				CAMIÓN DE 3 EJES	27	12,20	2,60	4,10
4-C				CAMIÓN DE 4 EJES	31	12,20	2,60	4,10
4-0				CAMIÓN CON TÁNDEM DIFERENCIAL Y TÁNDEM POSTERIOR	32	12,20	2,60	4,10
V2DB				VOLQUETA DE DOS EJES 8 m³	18	12,20	2,60	4,10
V3A				VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m³	27	12,20	2,60	4,10

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). (2013). Tabla 2A. 106-02 Nacional de Pesos y Dimensiones: Tipos de vehículos motorizados, remolques y semirremolques. Vol No. 2-Libro A norma para estudios y diseños viales. Quito, Ecuador.

8. Se calcula el TPDA final con la siguiente expresión:

$$TPDA_{final} = TPDA_o \times (1 + i)^n$$

Tabla 5. 10. TPDA final

Tipo	TPDA <sub>o</sub>	%	TPDA final
2D	171	52	230
2DB	15	5	20
3A	142	43	191
Total	328		441

9. Encontramos el factor de carga equivalente con las siguientes expresiones:

Para eje simple:  $F_{ss} = \left(\frac{L_{ss}}{6.6}\right)^4$

Para eje doble:  $F_{sd} = \left(\frac{L_{sd}}{8.2}\right)^4$

Para eje tándem:  $F_t = \left(\frac{L_t}{15}\right)^4$

Fuente: Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

Tabla 5. 11. Factor de carga equivalente

Tipo	Carga Total (Ton)	Carga por eje (Ton)	%	Fce por eje
2D	7	3	52	0,022
		4		0,070
2DB	18	7	5	0,063
		11		0,162
3A	27	7	43	0,544
		20		1,360
			FCE	2,22

10. Número de ejes de 8.2 Ton.

$$N(8.2T) = \left(\frac{TPDAo + TPDA\ final}{2}\right) \times 365 \times Dt \times n \times FCE$$

$$N(8.2T) = 1.56 \times 10^6$$

11. Suelo Sub-rasante: Se asume un valor C.B.R. = 11%

$$Mr(psi) = 2555 \times C.B.R.^{0.64}$$

$$C.B.R. > 10\%$$

$$Mr(psi) = 11854.47\ psi$$

$$Mr(psi) = 11000\ psi$$

## 12. Pérdida por serviciabilidad

Po valores entre: 4.2 – 4.5 ----- **Po = 4.2**

Pt valores entre: 5 – 4      Muy bueno

4 – 3      Bueno

3 – 2      Regular----- **Pt = 2.2**

2 – 1      Malo

1 – 0      Muy malo

$$PSI = Po - PT$$

$$PSI = 4.2 - 2.2 = 2.0$$

### 13. Número estructural por capa

- **Sub-rasante**

Figura 5. 3. Número estructural de la Sub-rasante obtenido por el programa de AASHTO (93)

Ecuación AASHTO 93

**CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)**  
**Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.**

Tipo de Pavimento  
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So 0.44

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 11000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
☒ Calcular SN **W18 = 1560000**  
☐ Calcular W18

Número Estructural  
**SN = 3.14**

Observaciones

Calcular Salir

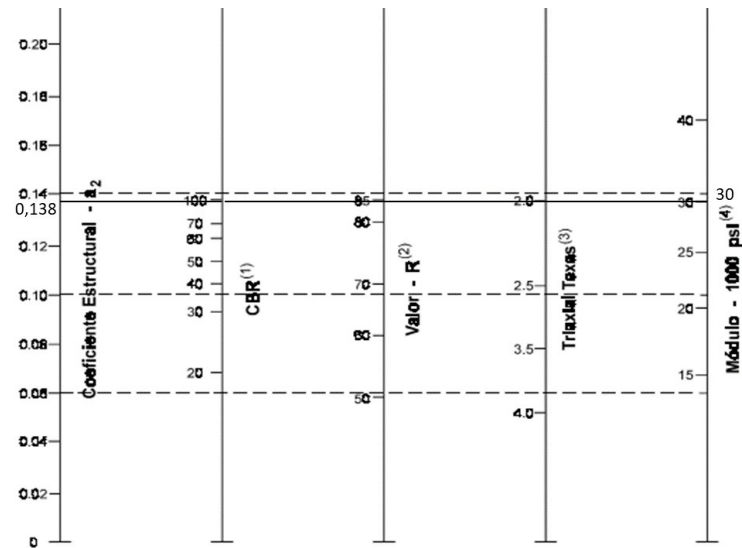
**SN = 3.14**

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

- **Base Clase 1 Tipo A**

<b>C.B.R.</b>	<b>99,20%</b>	<b>m</b>	<b>1 (coef. drenaje)</b>
---------------	---------------	----------	--------------------------

Figura 5. 4. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Base Clase 1 Tipo A



(1) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de Illinois.

(2) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de California, Nuevo México y Wyoming.

(3) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de Texas.

(4) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

$$a_2 = (0.138 \text{ pulg} / 2.54 \text{ cm}) = 0.0543 \text{ cm}; \quad M_r = 30000 \text{ psi}$$

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

Figura 5. 5. Número estructural de la Base Clase 1 Tipo A obtenido por el programa de AASHTO (93)

**Ecuación AASHTO 93**

**CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)**

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento  
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So 0.44

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 30000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)  Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)  Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
☒ Calcular SN **W18 =** 1560000 ☐ Calcular W18

Número Estructural  
**SN =** 2.17

Observaciones

Calcular Salir

**SN = 2.17**

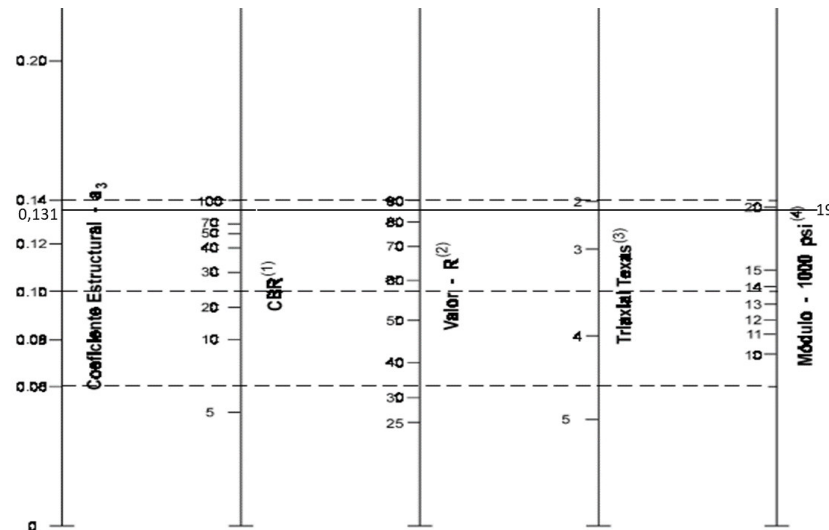
Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.



- Sub-base Clase 1

C.B.R.	77,80%	m	1 (coef. drenaje)
--------	--------	---	-------------------

Figura 5. 6. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Sub-base Clase 1



- (1) Escala derivada de correlaciones de Illinois.  
 (2) Escala derivada de correlaciones obtenidas del Instituto del Asfalto, California, Nuevo México y Wyoming.  
 (3) Escala derivada de correlaciones obtenidas de Texas.  
 (4) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

$$a_3 = (0.131 \text{ pulg} / 2.54 \text{ cm}) = 0.0516 \text{ cm}; Mr = 19000 \text{ psi}$$

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos

Figura 5. 7. Número estructural de la Sub-base Clase 1 obtenido por el programa de AASHTO (93)

**Ecuación AASHTO 93**

**CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)**

Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento:  
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):  
 90 %  $Z_R = -1.282$  So: 0.44

Serviciabilidad inicial y final:  
 PSI inicial: 4.2 PSI final: 2.2

Módulo resiliente de la subrasante:  
 Mr: 19000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - $E_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de transmisión de carga - (J)	<input type="text"/>
Módulo de rotura del concreto - $S_c$ (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de drenaje - (Cd)	<input type="text"/>

Tipo de Análisis:  
☒ Calcular SN ☐ Calcular  $W_{18}$

$W_{18} = 1560000$

Número Estructural:  
 SN = 2.57

Observaciones:

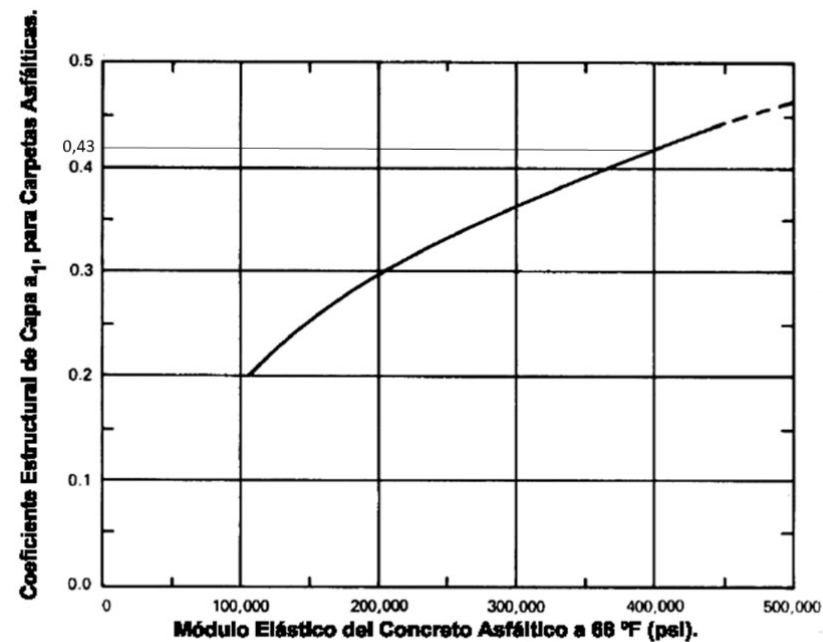
**SN = 2.57**

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

- **Carpeta Asfáltica**

En nuestro medio la carpeta asfáltica de cumplir con un  $MR=400.000$  psi.

Figura 5. 8. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica



$$a_1 = (0.43 \text{ pulg} / 2.54 \text{ cm}) = 0.169; m = 1$$

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

#### 14. Espesores de las capas de la estructura del pavimento

- **Carpeta Asfáltica**

$$D1 = \frac{2.17}{0.169 \times 1} = 12.84 \text{ cm} \approx \mathbf{10 \text{ cm}}$$

$$SN \text{ real} = 10 \times 0.169 \times 1 = 1.69$$

- **Base**

$$D2 = \frac{2.57 - 1.69}{0.0543 \times 1} = 16.21 \text{ cm} \approx \mathbf{20 \text{ cm}}$$

$$SN \text{ real} = 20 \times 0.0543 \times 1 = 1.09$$

- **Sub-base**

$$D3 = \frac{3.14 - 1.09 - 1.69}{0.0516 \times 1} = 6.98 \text{ cm} \approx \mathbf{15 \text{ cm}}$$

$$SN \text{ real} = 15 \times 0.0516 \times 1 = 0.77$$

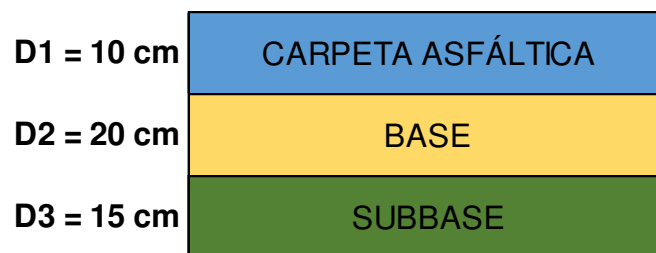
Comprobación:

$$1.69 + 1.09 + 0.77 > 3.14$$

$$3.55 > 3.14 \quad \mathbf{\underline{\text{Cumple}}}$$

Estructura del Pavimento:

Figura 5. 9. Espesores de la estructura vial por el método AASHTO (1993)



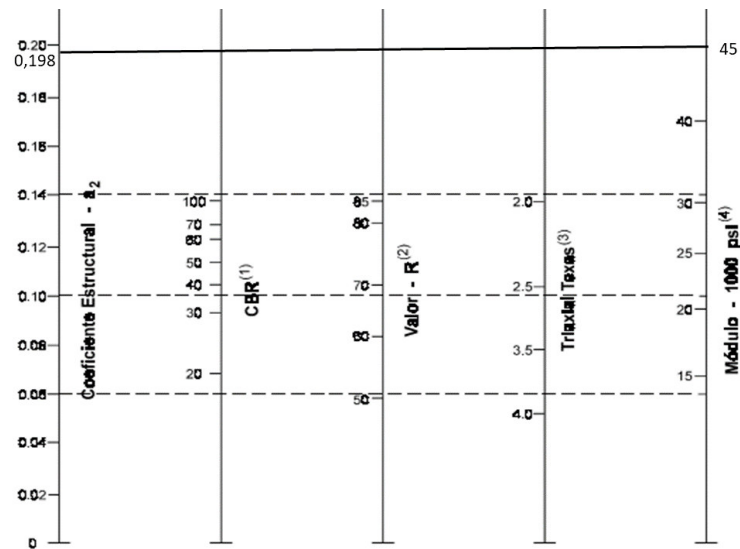
Cálculo del espesor de la Base y Sub-base por medio de la correlación obtenida:

- Número estructural
  - Carpeta Asfáltica (D1)  
 $a_1 = 0.43 \text{ pulg} / 2.54 \text{ cm} = 0.169 \text{ cm}$   
 $m = 1$
  - Base (D2)  
 $a_2 = 0.198 \text{ pulg} / 2.54 \text{ cm} = 0.078$   
 $SN = 1.9$   
 $Mr = 45000 \text{ psi}$
  - Sub-base (D3)  
 $a_3 = 0.247 \text{ pulg} / 2.54 \text{ cm} = 0.097 \text{ cm};$   
 $SN = 2.1$   
 $Mr = 40000 \text{ psi}$

- Base Clase 1 Tipo A

**Mr** 45000 psi

Figura 5. 10. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Base Clase 1 Tipo A



(1) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de Illinois.

(2) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de California, Nuevo México y Wyoming.

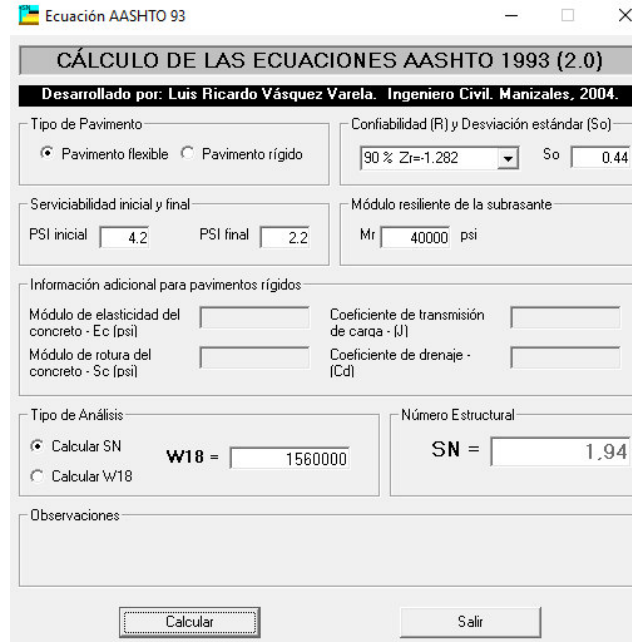
(3) Escala derivada por correlaciones promedio obtenidas de Texas.

(4) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

$$a_2 = (0.198 \text{ pulg} / 2.54 \text{ cm}) = 0.078 \text{ cm}$$

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos

Figura 5. 11. Número estructural de la Base Clase 1 tipo A obtenido por el programa de AASHTO (93)



**CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento:  
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):  
 90 % Zr=-1.282 So 0.44

Serviciabilidad inicial y final:  
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.2

Módulo resiliente de la subrasante:  
 Mr 40000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:  
 Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)   
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis:  
☒ Calcular SN ☐ Calcular W18

Número Estructural:  
 SN = 1.94

Observaciones:

Calcular Salir

**SN = 1.94**

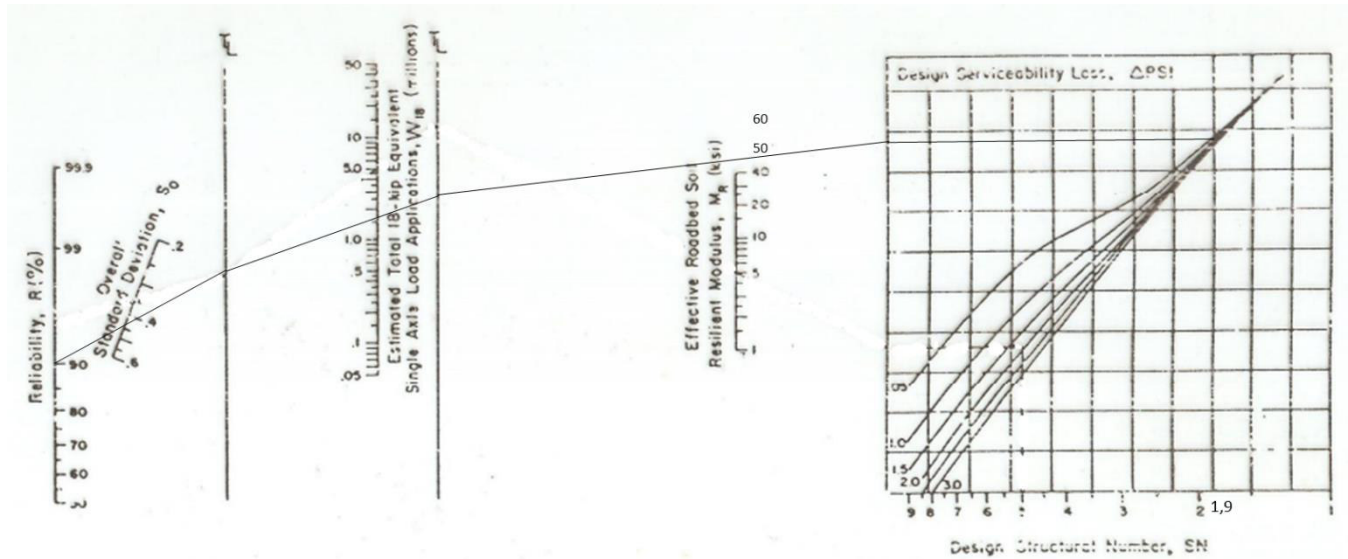
Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos

En este caso, el software de AASHTO (93), permite ingresar el valor máximo de Mr de 40000 psi, mediante la correlación se obtuvo que para Base Clase 1 Tipo A el Mr es de 45000 psi; esto quiere decir que se tiene un número estructural conservador.

No existe gran variación entre el número estructural obtenido por el software que es de SN=1.94 con Mr=40000 psi y el del ábaco SN=1.9 con Mr = 45000 psi.

<b>C</b>	<b>90%</b>	<b>So</b>	<b>0,44</b>	<b>N(8,2T)</b>	<b><math>1,56 \times 10^6</math></b>	<b>Mr</b>	<b>45000 psi</b>	<b>PSI</b>	<b>2</b>
----------	------------	-----------	-------------	----------------	--------------------------------------	-----------	------------------	------------	----------

Figura 5. 12. Ábaco para obtener el número estructural de Base Clase 1 Tipo A



**SN = 1.9**

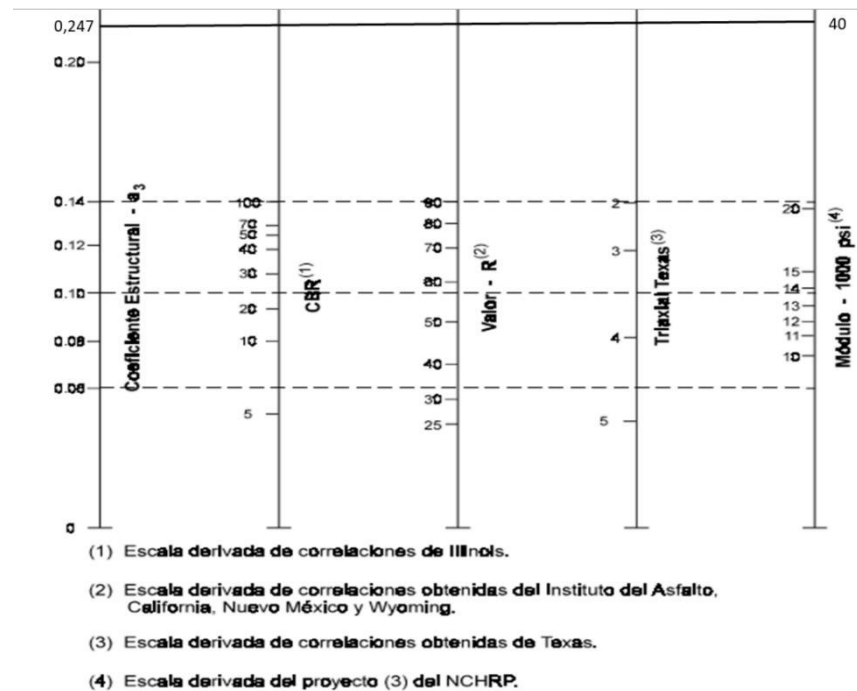
Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.



- Sub-base Clase 1

**Mr** 40000 psi

Figura 5. 13. Ábaco para obtener el coeficiente estructural de Sub-base Clase 1



$$a_3 = (0.247 \text{ pulg} / 2.54 \text{ cm}) = 0.097 \text{ cm}$$

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

Figura 5. 14. Número estructural de la Sub-base Clase 1 obtenido por el programa de AASHTO (93)

**Ecuación AASHTO 93**

**CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)**

Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento:  
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):  
 90 %  $Z_r = -1.282$  So: 0.44

Serviciabilidad inicial y final:  
 PSI inicial: 4.2 PSI final: 2.2

Módulo resiliente de la subrasante:  
 Mr: 40000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - $E_c$ (psi)	Coeficiente de transmisión de carga - (J)
Módulo de rotura del concreto - $S_c$ (psi)	Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis:  
☒ Calcular SN ☐ Calcular W18

W18 = 1560000

Número Estructural:  
 SN = 1.94

Observaciones:

Calcular Salir

**SN = 1.94**

Fuente: AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition). Estados Unidos.

- Espesores de las capas de la estructura del pavimento

- **Carpeta Asfáltica**

$$D1 = \frac{1.94}{0.169 \times 1} = 11.48 \text{ cm} \approx \mathbf{10 \text{ cm}}$$

$$SN \text{ real} = 10 \times 0.169 \times 1 = 1.69$$

- **Base**

$$D2 = \frac{1.94 - 1.69}{0.078 \times 1} = 3.21 \text{ cm} \approx \mathbf{15 \text{ cm}}$$

$$SN \text{ real} = 15 \times 0.078 \times 1 = 1.17$$

- **Sub-base**

$$D3 = \frac{3.14 - 1.17 - 1.69}{0.097 \times 1} = 2.89 \text{ cm} \approx \mathbf{10 \text{ cm}}$$

Por normativa el espesor mínimo de la Sub-base debe ser de **15 cm**

$$SN \text{ real} = 15 \times 0.097 \times 1 = 1.46$$

Comprobación:

$$1.69 + 1.17 + 1.46 > 3.14$$

$$4.32 > 3.14 \quad \mathbf{\underline{Cumple}}$$

Estructura del Pavimento:

Figura 5. 15. Espesores de la estructura vial por correlación obtenida

D1 = 10 cm	CARPETA ASFÁLTICA
D2 = 15 cm	BASE
D3 = 15 cm	SUBBASE

### 5.5 Comparación entre espesores obtenidos por el Método AASHTO (1993) y espesores obtenidos con la correlación

Figura 5. 16. Comparación de espesores de la vía obtenidos por método AASHTO (1993) y correlación

Método AASHTO (1993)		Con correlación obtenida por ensayos	
D1 = 10 cm	CARPETA ASFÁLTICA	D1 = 10 cm	CARPETA ASFÁLTICA
D2 = 20 cm	BASE	D2 = 15 cm	BASE
D3 = 15 cm	SUBBASE	D3 = 15 cm	SUBBASE

### 5.6. Resumen de resultados del diseño por el método AASHTO y correlación

Tabla 5. 12. Resumen de resultados del diseño por el método AASHTO y correlación

Capa	Espesor calculado		Espesor aproximado		Espesor final	
	Método AASHTO (cm)	Correlación (cm)	Método AASHTO (cm)	Correlación (cm)	Método AASHTO (cm)	Correlación (cm)
Carpeta Asfáltica	12,84	11,48	10	10	10	10
Base	16,21	3,21	20	10	20	15
Subbase	6,98	2,89	15	5	15	15

## **CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

- En el diseño de vías propuesto por AASHTO (1993), se necesita el C.B.R. del material que se va a utilizar para obtener el Módulo Resiliente a través de una fórmula existente que, da como resultado el espesor de las capas de la estructura de la vía. Al obtener una correlación entre el C.B.R. y el Módulo Resiliente real de la mina en estudio, se tiene como resultado valores reales en el comportamiento de los materiales que se van a usar en la estructura de la vía, teniendo como consecuencia espesores de capas menores como sucede en la base: una reducción de 5 cm que, al momento de la construcción reduce el tiempo de entrega, la cantidad de material y por consiguiente el costo final de la construcción de la vía.
- En la obtención del Módulo Resiliente por medio de la correlación, se obtiene como resultado espesores menores en las capas de la vía; en el caso de estudio se tiene un TPDA final bajo y se demuestra que hay una reducción de espesor en la base; pero al tener mayor carga vehicular es decir un TPDA mayor se observará una reducción significativa en el espesor de las capas, al comparar el diseño obtenido por el método AASHTO y por valores a partir de la correlación.
- El método AASHTO con valores de C.B.R. ha sido utilizado para el diseño de obras viales, pero al tener el ensayo de módulo resiliente se puede obtener

el diseño adecuado y optimizado de los espesores de las capas que conforman la estructura de la vía.

- La correlación resultante permite la obtención del Módulo Resiliente a partir del C.B.R; lo cual es importante debido a que, en el Ecuador los ensayos de Módulo Resiliente tienen un alto costo y se deben realizar en un laboratorio especializado con maquinaria triaxial.
- Para el diseño de la vía, el método ASSHTO (93) tiene la ayuda de ábacos que permiten obtener los coeficientes estructurales, los cuales tienen valores de Módulo Resiliente en bases hasta 40000 psi y en sub-bases hasta 20000 psi; pero al obtener los valores por correlación, los ábacos no permiten encontrar valores exactos ya que, sobrepasan los límites de Módulo Resiliente para lo cual se hizo una extrapolación con los datos que se tiene y así se encuentra el coeficiente estructural para continuar el procedimiento de diseño.

Para obtener los números estructurales el método AASHTO (93) cuenta con la ayuda de un software, pero el limitante es que para  $M_r$  el valor máximo es de 40000 psi, y en nuestro caso de estudio tenemos ciertos datos con  $M_r$  que sobrepasan este límite, para lo cual se tomó como referencia el valor máximo de 40000 psi dando como resultado un número conservador.

- Los C.B.R. obtenidos de los tipos de Bases dan mayor al 80% y Sub-bases dan valores superiores al 70%, esto quiere decir que es un material muy

resistente y es óptimo para la utilización en proyectos viales, ya que el agregado proviene de una mina que se encuentra en el lecho de un río.

- Los resultados del Módulo Resiliente del material se encuentran en el rango propuesto por el tipo de suelo a excepción de Base clase 1 tipo A, Base clase 2 y Base clase 3 que tienen valores un tanto mayores, esto se debe a que por las características del material lo hace más resistente.
- La caracterización del material cumple con todas las normativas ASTM y AASHTO, teniendo como resultado una mina calificada para la obtención de agregados para los diseños viales.

## **6.2. Recomendaciones**

- Para la realización de los ensayos que permitirán calificar a una mina por medio de la caracterización, es necesario tener la cantidad de material suficiente, dado a que es importante que esto no altere los resultados finales y que estos coincidan con los resultados iniciales.
- Antes de iniciar el estudio y los ensayos, es importante que se dominen los procedimientos necesarios para que estos puedan ser realizados de manera adecuada, con el fin de tener valores reales apegados a la realidad de las características de los agregados.
- Para el ensayo del Módulo Resiliente, es importante tener en cuenta la humedad óptima del material a que se va a utilizar en los ensayos para no tener problemas en la compactación y realización de este.

- En cuanto a los instrumentos, la broca del roto martillo para la compactación no debe ser de igual diámetro del interior del cilindro, ya que al momento de compactar esta puede romper la membrana de confinamiento.
- Al hacer las 5 capas de compactación de material, es importante escarificar cada capa para la mejor compactación entre las diferentes capas.
- Las probetas que ya están listas para la compactación se deben ensayar al menos 24 horas después, ya que se produce un efecto químico de cementación por partículas pequeñas que quedan libres y en el transcurso de este tiempo se adhieren al material compactado.
- Es importante que, al momento de ensayar la probeta, se coloque otra membrana sobre la que ya existe para que al momento de las cargas el material no explote y tenga mayor confinamiento.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (4th Edition)*. Estados Unidos.

AASHTO. (2012). *AASHTO T307-99 - Determinación del Módulo Resiliente de Suelos y Materiales de Agregado*. Washington, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2005). *ASTM D4318-05-Los métodos de estándar de ensayo para Límite Líquido, Límite Plástico, Índice de Plasticidad de los suelos*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C127-Gravedad específica y absorción del agregado grueso*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C128-Gravedad específica y absorción del agregado fino*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C131-Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1 1/2 pulg), por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C142-97 Determinación de terrones de arcilla y de partículas friables (desmenuzables) en los agregados*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C33-Granulometría de agregados*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C40-99-Contenido orgánico de la arena*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C702-Reducción de muestras a tamaños de ensayo*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM C88-Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de sodio o sulfato de magnesio*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM D1557-Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM D1883-Standard Test Method for California Bearing Ratio (C.B.R.) of Laboratory-Compacted Soils*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM D2419-Equivalente de arena en suelos y agregado fino*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM D-2487-17-Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. West Conshohocken, Estados Unidos.

ASTM INTERNATIONAL. (2006). *ASTM D75-Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo*. West Conshohocken, Estados Unidos.

Braja M. Das. (1998). *Principles of Geotechnical Engineering*.

Camacho, J. (2013). *Determinación de la capacidad de soporte C.B.R. del suelo*. Valparaiso, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaiso. Recuperado el 14 de Septiembre de 2018

Departamento de la dirección de vialidad, G. (2013). *Estudio de Evaluación Estructural de Pavimentos*. Quito, Ecuador.

Gárnica Anguas, P., Pérez García, N., & Gómez López, J. A. (2001). *Módulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares*. Sanfandila, México.

Google Maps. (5 de Mayo de 2018).

Herrera Montealegre, M. (2014). *Determinación del módulo resiliente de diseño de pavimentos mediante criterios AASHTO 1993 y 2002*. Lima, Perú: Universidad de Piura. Recuperado el 14 de Septiembre de 2018

Higuera Sandoval, C. H. (1989). *Correlaciones CBR - Módulo Resiliente*. Colombia.

Instituto Mexicano de Transporte. (2001). *Módulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares*. Sanfadila, México.

Intituto Nacional de Vías. (2007). *Norma I.N.V.E. 223-07*. Popayán, Colombia: Universidad del Cauca.

Jimenez Acuña, M. (2009). *Implementación del ensayo de Módulo Resiliente en Bases granulares para pavimentos*. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.

Limaymanta Mendoza, F. M., & Gutiérrez Lázares, W. (2003). *Ensayo de Módulo Resiliente*. Perú.

Méndez Silva, E. A. (2012). *Propuesta para sustitución de agregados pétreos por agregados pet*. Veracruz, México: Universidad Veracruzana.

Ministerio de Obras Públicas. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito, Ecuador. Recuperado el 15 de Septiembre de 2018

Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP). (2013). *Tabla 2A. 106-02 Nacional de Pesos y Dimensiones: Tipos de vehículos motorizados, remolques y semiremolques. Vol No. 2-Libro A norma para estudios y diseños viales*. Quito, Ecuador.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial*. Quito, Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima, Perú.

- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras Tomo I*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia. Retrieved Septiembre 15, 2018
- Pavement Analysis System. (1984). *Asociación Americana de Pavimentos de Concreto de Estados Unidos*. Estados Unidos.
- Portland Cement Association, P. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Illinois, Estados Unidos: Skokie.
- Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño*. Colombia: ECOE.
- Salvador , P., & Salvador, J. (2001). *Manual Visualizado de Ensayos para Pavimentos*. Quito, Ecuador.
- Transport Road Laboratory. (1984). *Transport Road Laboratory*. Lister - New York, Estados Unidos.
- Universidad de Chile. (2006). *Apuntes de Laboratorio CI44A*. Santiago de Chile, Chile.
- Villafuerte Bermúdez, L. E., & Ortega Calle, K. G. (2015). *Evaluación estructural de pavimento flexible para suelos de tipo limo arenoso*. Quito, Ecuador.
- Villalobos Orchard, J. (2016). *Departamento de Geología Universidad de Chile*. Recuperado el 5 de Mayo de 2018, de Las rocas y su proceso de formación: <http://www.geologia.uchile.cl/las-rocas-y-sus-procesos-de-formacion>

Yáñez C, G. (2018). *Guía Laboratorio de Pavimentos 2018*. Quito, Ecuador.



Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

# **ANEXOS**

**Anexo 1. Fotos de la Mina Copeto (Toachi – Santo Domingo de los Tsáchilas)**

Fotografía 1. Mina Copeto



Fotografía 2. Agregados de la Mina





Fotografía 3. Agregados de la Mina



## **Anexo 2. Fotos de la realización de los ensayos de caracterización**

Fotografía 4. Tamizado de material



Fotografía 5. Durabilidad de los agregados a la acción de sulfatos



Fotografía 6. Equivalente de arena



Fotografía 7. Desgaste a la abrasión





**Anexo 3. Fotos de la realización de los ensayos del C.B.R.**

Fotografía 8. Compactación  
del material



Fotografía 9. Compactación  
del material



Fotografía 10. Saturación  
de la muestra



Fotografía 11. Lectura del  
DIAL



***Anexo 4. Informes de Laboratorio de C.B.R.***

## CÁLCULO E INFORME DEL VALOR SOPORTANTE DE LOS SUELOS "ENSAYO CBR"

Proyecto:	Tesis	Director de tesis:	Ing. Gustavo Yáñez
Tipo de muestra:	Sub-base clase 1	Ensayado Por:	Felipe Parra
Remoldeada:	SI	Colaboración:	Laboratorios "LDMS"
Inalterada:		Fecha de la Muestra:	viernes, 25 de mayo de 2018

### Datos del ensayo modificado de compactación de suelo

NORMAS UTILIZADAS	Método:	MODIFICADO
ASTM	Densidad Máxima:	Kg/m. <sup>3</sup>
AASTHO	Humedad Optima:	9.81%

### Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo

Molde N°	D-11			D-9			CM-3		
N° de Capas	5			5			5		
N° de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de	Antes de Remojar		Después de	Antes de Remojar		Después de
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12745		13298	11243		11963	10739		11498
Peso del molde (Kgs)	7670		7670	6998		6998	7120		7120
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5075		5628	4245		4965	3619		4378
Volumen muestra (m³)	2323		2323	2286		2286	2288		2288
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2.185		2.423	1.857		2.172	1.582		1.913
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Arriba	1" de Arriba	1" de Arriba
Peso de muestra humedad + tarro (g)	23	J-9	ML-3	ML-14	M-3	23	ML-15	ML-3	J-9
	81.15	85.64	97.70	95.13	93.13	96.99	103.08	98.23	107.35
Peso de muestra seca + tarro (g)	76.00	80.09	84.42	88.69	86.68	80.54	96.00	91.43	87.56
Peso del agua (g)	5.15	5.55	13.28	6.44	6.45	16.45	7.08	6.80	19.79
Peso del tarro (g)	20.12	22.12	19.80	19.40	18.55	20.12	19.20	19.80	22.12
Peso de la muestra seca (g)	55.88	57.97	64.62	69.29	68.13	60.42	76.80	71.63	65.44
Contenido de humedad %	9.22%	9.57%	20.55%	9.29%	9.47%	27.23%	9.22%	9.49%	30.24%
Contenido de humedad promedio, %	9.40%		20.55%	9.38%		27.23%	9.36%		30.24%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1.997		2.010	1.698		1.707	1.446		1.469

### Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)

Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° D 11			Molde N° D 9			Molde N° CM 3		
			Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador
			Pulga.	%		Pulga.	%		Pulga.	%	
2018-05-26	14h00	1	1	0.001	0.021993	1	0.001	0.021993	2	0.002	0.043985
2018-05-27	14h00	2	1	0.001	0.021993	1	0.001	0.021993	2	0.002	0.043985
2018-05-28	14h00	3	1	0.001	0.021993	3	0.003	0.065978	4	0.004	0.087970
2018-05-29	14h00	4	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978	4	0.004	0.087970
2018-05-30	14h00	5	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978	4	0.004	0.087970

### Datos del CBR

Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde N° D 11		Molde N° D 9		Molde N° CM 3	
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.
0.000		0	0	0	0	0	0
0.025		212	218	154	159	102	105
0.050		434	447	346	356	165	170
0.075		645	664	552	569	288	297
0.100	1000	915	942	654	674	423	436
0.150		1079	1111	761	784	477	491
0.200		1139	1173	867	893	590	608
0.250		1288	1327	897	924	614	632
0.300		1324	1364	934	962	645	664
0.400		1345	1385	951	980	669	689
0.500		1378	1419	977	1006	723	745
0.600		1398	1440	1009	1039	738	760

## CÁLCULO E INFORME DEL VALOR SOPORTANTE DE LOS SUELOS "ENSAYO CBR"

Proyecto:	Tesis	Director de tesis:	Ing. Gustavo Yáñez
Tipo de muestra:	Sub-base Clase 2	Ensayado Por:	Felipe Parra
Remoldeada:	SI	Colaboración:	Laboratorios "LDMS"
Inalterada:		Fecha de la Muestra:	viernes, 25 de mayo de 2018

### Datos del ensayo modificado de compactación de suelo:

NORMAS UTILIZADAS	Método:	MODIFICADO
ASTM	D1883	1988
AASHTO	T-180	9.64%
	Densidad Máxima:	Kg/m. <sup>3</sup>
	Humedad Óptima:	

### Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo

Molde N°	SL-8			SL-20			G-2		
N° de Capas	5			5			5		
N° de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojarse		Después de Remojarse	Antes de Remojarse		Después de Remojarse	Antes de Remojarse		Después de Remojarse
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12034		12988	11456		12489	10897		12134
Peso del molde (Kgs)	7215		7215	7024		7024	7005		7005
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4819		5773	4432		5465	3892		5129
Volumen muestra (m³)	2234		2234	2285		2285	2205		2205
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2.157		2.584	1.940		2.392	1.765		2.326
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Arriba	1" de Arriba	1" de Arriba
Tarro N°	ML-20	33	B-4	B-4	B-30	ML-20	P11	8	33
Peso de muestra humedad + tarro (g)	73.60	79.11	91.18	79.67	96.76	93.34	102.77	96.19	116.81
Peso de muestra seca + tarro (g)	68.92	73.98	73.48	74.03	90.00	75.58	95.90	89.76	88.96
Peso del agua (g)	4.68	5.13	17.70	5.64	6.76	17.76	6.87	6.43	27.85
Peso del tarro (g)	18.50	18.95	12.26	12.26	17.95	18.50	21.08	20.00	18.95
Peso de la muestra seca (g)	50.42	55.03	61.22	61.77	72.05	57.08	74.82	69.76	70.01
Contenido de humedad %	9.28%	9.32%	28.91%	9.13%	9.38%	31.11%	9.18%	9.22%	39.78%
Contenido de humedad promedio, %	9.30%		28.91%	9.26%		31.11%	9.20%		39.78%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1.974		2.005	1.775		1.824	1.616		1.664

### Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)

Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° SL 8			Molde N° SL-20			Molde N° G 2		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2018-05-26	14h00	1	1	0.001	0.021993	2	0.002	0.043985	4	0.004	0.087970
2018-05-27	14h00	2	2	0.002	0.043985	2	0.002	0.043985	4	0.004	0.087970
2018-05-28	14h00	3	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978	4	0.004	0.087970
2018-05-29	14h00	4	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978	4	0.004	0.087970
2018-05-30	14h00	5	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978	4	0.004	0.087970

### Datos del CBR

Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde N° SL 8		Molde N° SL-20		Molde N° G 2	
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.
0.000		0	0	0	0	0	0
0.025		191	197	142	146	92	95
0.050		411	423	335	345	126	130
0.075		698	719	467	481	198	204
0.100	1000	898	925	656	676	389	401
0.150		956	985	664	684	431	444
0.200		1106	1139	831	856	541	557
0.250		1211	1247	789	813	556	573
0.300		1257	1295	833	858	567	584
0.400		1289	1328	867	893	592	610
0.500		1321	1361	912	939	609	627
0.600		1332	1372	929	957	614	632



## CÁLCULO E INFORME DEL VALOR SOPORTANTE DE LOS SUELOS "ENSAJO CBR"

Proyecto:	Tesis	Director de tesis:	Ing. Gustavo Yáñez
Tipo de muestra:	Sub-base clase 3	Ensayado Por:	Felipe Parra
Remoldeada:	SI	Colaboración:	Laboratorios "LDMS"
Inalterada:		Fecha de la Muestra:	viernes, 25 de mayo de 2018

### Datos del ensayo modificado de compactación de suelo:

NORMAS UTILIZADAS	Método:	MODIFICADO
ASTM	Densidad Máxima:	Kg/m. <sup>3</sup>
AASTHO	Humedad Óptima:	10.90%

### Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo

Molde N°	G5			G21			G16		
N° de Capas	5			5			5		
N° de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	11898		12.443	11233		11874	10688		11399
Peso del molde (Kgs)	6998		6.998	7015		7015	7022		7022
Peso de muestra húmeda (Kgs)	4900		5.445	4218		4859	3666		4377
Volumen muestra (m³)	2286		2.286	2215		2215	2286		2286
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2.143		2.382	1.904		2.194	1.604		1.915
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba
Peso de muestra humedad + tarro (g)	ML-21	AB-15	45	C-15	45	M-2	ML-13	M-2	C-15
	65.98	73.91	90.87	71.66	67.10	76.91	82.64	65.62	67.01
Peso de muestra seca + tarro (g)	61.24	68.76	77.89	66.69	62.76	64.11	76.91	60.58	56.22
Peso del agua (g)	4.74	5.15	12.98	4.97	4.34	12.80	5.73	5.04	10.79
Peso del tarro (g)	14.90	19.75	19.80	18.15	19.80	12.00	20.60	12.00	18.15
Peso de la muestra seca (g)	46.34	49.01	58.09	48.54	42.96	52.11	56.31	48.58	38.07
Contenido de humedad %	10.23%	10.51%	22.34%	10.24%	10.10%	24.56%	10.18%	10.37%	28.34%
Contenido de humedad promedio, %	10.37%		22.34%	10.17%		24.56%	10.28%		28.34%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	1.942		1.947	1.728		1.761	1.454		1.492

### Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)

Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° G5			Molde N° G 21			Molde N° G 16		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2018-05-26	14h00	1	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.06598	4	0.004	0.08797
2018-05-27	14h00	2	2	0.002	0.043985	5	0.005	0.10996	4	0.004	0.08797
2018-05-28	14h00	3	2	0.002	0.043985	5	0.005	0.10996	6	0.006	0.13196
2018-05-29	14h00	4	2	0.002	0.043985	5	0.005	0.10996	6	0.006	0.13196
2018-05-30	14h00	5	2	0.002	0.043985	5	0.005	0.10996	6	0.006	0.13196

### Datos del CBR

Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde N° G5		Molde N° G 21		Molde N° G 16	
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.
0.000		0	0	0	0	0	0
0.025		163	168	127	131	89	92
0.050		389	401	242	249	109	112
0.075		591	609	289	298	227	234
0.100	1000	850	876	589	607	322	332
0.150		978	1007	623	642	361	372
0.200		1059	1091	693	714	456	470
0.250		1167	1202	745	767	478	492
0.300		1243	1280	767	790	494	509
0.400		1289	1328	791	815	511	526
0.500		1297	1336	812	836	523	539
0.600		1312	1351	833	858	531	547

## CÁLCULO E INFORME DEL VALOR SOPORTANTE DE LOS SUELOS "ENSAYO CBR"

Proyecto:	Tesis	Director de tesis:	Ing. Gustavo Yáñez
Tipo de muestra:	Base clase 1	Ensayado Por:	Felipe Para
Remoldeada:	SI	Colaboración:	Laboratorios "LDMS"
Inalterada:		Fecha de la Muestra:	viernes, 25 de mayo de 2018

### Datos del ensayo modificado de compactación:

NORMAS UTILIZADAS	Método:	MODIFICADO
ASTM	Densidad Máxima:	Kg/m. <sup>3</sup>
AASHTO	Humedad Óptima:	2136
		10.96%

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde N°	SL-23			M-4			G-17		
N° de Capas	5			5			5		
N° de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojarse		Después de Remojarse	Antes de Remojarse		Después de Remojarse	Antes de Remojarse		Después de Remojarse
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12657		13360	11656		12467	10897		11694
Peso del molde (Kgs)	7302		7302	6987		6987	7036		7036
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5355		6058	4669		5480	3861		4658
Volumen muestra (m <sup>3</sup> )	2209		2209	2286		2286	2258		2258
Peso unit. Húmedo, Kgs/m <sup>3</sup>	2.424		2.742	2.042		2.397	1.710		2.063
	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Arriba	1" de Arriba	1" de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	ML-29	C-20	DS-7	B-11	DS-7	ML-29	AS	B-6	C-20
Peso de muestra humedad + tarro (g)	86.72	95.38	95.00	96.70	97.47	99.43	99.48	95.31	105.24
Peso de muestra seca + tarro (g)	80.44	88.00	81.01	89.35	90.34	81.43	92.29	88.00	84.59
Peso del agua (g)	6.28	7.38	13.99	7.35	7.13	18.00	7.19	7.31	20.65
Peso del tarro (g)	19.10	16.70	21.80	16.79	21.80	19.10	20.50	17.20	16.70
Peso de la muestra seca (g)	61.34	71.30	59.21	72.56	68.54	62.33	71.79	70.80	67.89
Contenido de humedad %	10.24%	10.35%	23.63%	10.13%	10.40%	28.88%	10.02%	10.32%	30.42%
Contenido de humedad promedio, %	10.29%		23.63%	10.27%		28.88%	10.17%		30.42%
Peso Unit. Seco Kgs/m <sup>3</sup>	2.198		2.218	1.852		1.860	1.552		1.582

### Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)

Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° SL 23			Molde N° M 4			Molde N° G 17		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2018-05-26	14h00	1	1	0.001	0.021993	1	0.001	0.021993	2	0.002	0.043985
2018-05-27	14h00	2	2	0.002	0.043985045	1	0.001	0.021993	4	0.004	0.087970
2018-05-28	14h00	3	2	0.002	0.043985045	3	0.003	0.065978	4	0.004	0.087970
2018-05-29	14h00	4	2	0.002	0.043985045	3	0.003	0.065978	4	0.004	0.087970
2018-05-30	14h00	5	2	0.002	0.043985045	3	0.003	0.065978	4	0.004	0.087970

### Datos del CBR

Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg <sup>2</sup>	Molde N° SL 23		Molde N° M 4		Molde N° G 17	
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.
0.000		0	0	0	0	0	0
0.025		461	475	331	341	211	217
0.050		623	642	486	501	335	345
0.075		914	941	632	651	409	421
0.100	1000	1043	1074	876	902	534	550
0.150		1288	1327	978	1007	636	655
0.200		1445	1488	1178	1213	712	733
0.250		1532	1578	1236	1273	757	780
0.300		1578	1625	1276	1314	791	815
0.400		1622	1671	1311	1350	834	859
0.500		1642	1691	1349	1389	867	893
0.600		1671	1721	1378	1419	892	919



## CÁLCULO E INFORME DEL VALOR SOPORTANTE DE LOS SUELOS "ENSAJO CBR"

Proyecto:	Tesis	Director de tesis:	Ing. Gustavo Yáñez
Tipo de muestra:	Base clase 2	Ensayado Por:	Felipe Parra
Remoldeada:	SI	Colaboración:	Laboratorios "LDMS"
Inalterada:		Fecha de la Muestra:	viernes, 25 de mayo de 2018

### Datos del ensayo modificado de compactación de suelo

NORMAS UTILIZADAS	Método:	MODIFICADO
ASTM	D1883	Densidad Máxima:
AASHTO	T-180	Humedad Optima:
		2187
		10.06%

### Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo

Molde N°	AC-28			G-19			AL-22		
N° de Capas	5			5			5		
N° de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12589		13389	11234		12098	11233		12233
Peso del molde (Kgs)	7092		7092	6875		6875	7088		7088
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5497		6297	4359		5223	4145		5145
Volumen muestra (m³)	2294		2294	2215		2215	2286		2286
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2.396		2.745	1.968		2.358	1.813		2.251
	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Arriba	1" de Arriba	1" de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	ML-D	ML-17	DS-1	ML-7	ML-12	ML-D	DS-1	ML-9	ML-7
Peso de muestra humedad + tarro (g)	75.07		94.00	89.77		89.77	93.94		92.98
Peso de muestra seca + tarro (g)	70.08		87.00	75.85		89.96	82.57		81.31
Peso del agua (g)	4.99		7.00	13.92		7.17	6.52		17.74
Peso del tarro (g)	20.40		19.50	19.44		18.80	19.40		20.40
Peso de la muestra seca (g)	49.68		67.50	56.41		71.16	63.17		60.91
Contenido de humedad %	10.04%		10.37%	24.68%		10.08%	10.32%		29.12%
Contenido de humedad promedio, %	10.21%		24.68%	10.20%		29.12%	10.27%		33.24%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	2.174		2.202	1.786		1.826	1.644		1.689

### Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)

Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° AC 28			Molde N° G 19			Molde N° AL 22		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2018-05-26	14h00	1	1	0.001	0.021993	1	0.001	0.021993	2	0.002	0.043985
2018-05-27	14h00	2	1	0.001	0.021993	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978
2018-05-28	14h00	3	1	0.001	0.021993	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978
2018-05-29	14h00	4	1	0.001	0.021993	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978
2018-05-30	14h00	5	1	0.001	0.021993	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978

### Datos del CBR

Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde N° AC 28		Molde N° G 19		Molde N° AL 22	
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.
0.000		0	0	0	0	0	0
0.025		443	456	311	320	211	217
0.050		651	671	542	558	349	359
0.075		982	1011	754	777	478	492
0.100	1000	1023	1054	765	788	342	352
0.150		1325	1365	1096	1129	718	740
0.200		1423	1466	99.71	1154	823	848
0.250		1562	1609	1232	1269	882	908
0.300		1588	1636	1265	1303	933	961
0.400		1632	1681	1289	1328	951	980
0.500		1642	1691	1334	1374	967	996
0.600		1665	1715	1356	1397	998	1028

## CÁLCULO E INFORME DEL VALOR SOPORTANTE DE LOS SUELOS "ENSAYO CBR"

Proyecto:	Tesis	Director de tesis:	Ing. Gustavo Yáñez
Tipo de muestra:	Base clase 3	Ensayado Por:	Felipe Parra
Remoldeada:	SI	Colaboración:	Laboratorios "LDMS"
Inalterada:		Fecha de la Muestra:	viernes, 25 de mayo de 2018

### Datos del ensayo modificado de compactación de suelo

NORMAS UTILIZADAS	Método:	MODIFICADO
ASTM	Densidad Máxima:	Kg/m. <sup>3</sup>
AASTHO	Humedad Óptima:	2079 10.29%

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde N°	G-7			LL-22			D-12		
N° de Capas	5			5			5		
N° de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12233		13187	11897		13033	10766		11913
Peso del molde (Kgs)	7105		7105	7088		7088	6518		6518
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5128		6082	4809		5945	4248		5395
Volumen muestra (m <sup>3</sup> )	2223		2223	2286		2286	2366		2366
Peso unit. Húmedo, Kgs/m <sup>3</sup>	2.307		2.736	2.104		2.601	1.795		2.280
	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Arriba	1" de Arriba	1" de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	ML-32	SD2	B-28	ML-8	ML-35	ML-32	QT-9	B-28	QT-9
Peso de muestra humedad + tarro (g)	93.17	92.27	102.33	95.95	95.13	101.86	96.55	94.09	101.59
Peso de muestra seca + tarro (g)	86.04	85.54	83.11	89.01	87.42	79.94	89.56	87.00	78.74
Peso del agua (g)	7.13	6.73	19.22	6.94	7.71	21.92	6.99	7.09	22.85
Peso del tarro (g)	14.40	20.04	16.69	19.10	10.50	14.40	18.76	16.69	18.76
Peso de la muestra seca (g)	71.64	65.50	66.42	69.91	76.92	65.54	70.80	70.31	59.98
Contenido de humedad %	9.95%	10.27%	28.94%	9.93%	10.02%	33.45%	9.87%	10.08%	38.10%
Contenido de humedad promedio, %	10.11%		28.94%	9.98%		33.45%	9.98%		38.10%
Peso Unit. Seco Kgs/m <sup>3</sup>	2.095		2.122	1.913		1.949	1.633		1.651

### Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)

Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° G 7			Molde N° LL 22			Molde N° D 12		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2018-05-26	14h00	1	1	0.001	0.021993	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978
2018-05-27	14h00	2	2	0.002	0.043985	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978
2018-05-28	14h00	3	2	0.002	0.043985	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.065978
2018-05-29	14h00	4	2	0.002	0.043985	2	0.002	0.043985	4	0.004	0.087970
2018-05-30	14h00	5	2	0.002	0.043985	2	0.002	0.043985	4	0.004	0.087970

### Datos del CBR

Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg <sup>2</sup>	Molde N° G 7		Molde N° LL 22		Molde N° D 12	
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.
0.000		0	0	0	0	0	0
0.025		398	410	281	289	122	126
0.050		643	662	477	491	233	240
0.075		923	951	632	651	341	351
0.100	1000	1098	1131	889	916	590	608
0.150		1156	1191	987	1017	644	663
0.200		1392	1434	1034	1065	744	766
0.250		1459	1503	1092	1125	788	812
0.300		1483	1527	1134	1168	823	848
0.400		1545	1591	1168	1203	845	870
0.500		1577	1624	1212	1248	877	903
0.600		1581	1628	1233	1270	911	938

## CÁLCULO E INFORME DEL VALOR SOPORTANTE DE LOS SUELOS "ENSAYO CBR"

Proyecto:	Tesis	Director de tesis:	Ing. Gustavo Yáñez
Tipo de muestra:	Base clase 4	Ensayado Por:	Felipe Parra
Remoldeada:	SI	Colaboración:	Laboratorios "LDMS"
Inalterada:		Fecha de la Muestra:	viernes, 25 de mayo de 2018

### Datos del ensayo modificado de compactación de suelo

NORMAS UTILIZADAS	Método:	MODIFICADO
ASTM	D1883	Kg/m. <sup>3</sup>
AASHTO	T-180	2045
	Densidad Máxima:	9.64%
	Humedad Optima:	

Contenido de Humedad y peso Unitario de la Muestra de Ensayo									
Molde N°	SL-11			B-6			G-6		
N° de Capas	5			5			5		
N° de golpes por capa	56			25			11		
Estado de la muestra	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar	Antes de Remojar		Después de Remojar
Peso muestra húmeda + molde (Kgs)	12081		12842	11656		12788	10933		12133
Peso del molde (Kgs)	6996		6996	6998		6998	6896		6896
Peso de muestra húmeda (Kgs)	5085		5846	4658		5790	4037		5237
Volumen muestra (m³)	2226		2226	2286		2286	2205		2205
Peso unit. Húmedo, Kgs/m³	2.284		2.626	2.038		2.533	1.831		2.375
	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Fondo	Arriba	1" de Arriba	Arriba	1" de Arriba	1" de Arriba
Cant. De humedad de muestra del tarro N°	22	AS-5	12	W5	C-17	AS-5	C-14	12	W5
Peso de muestra humedad + tarro (g)	93.37	93.96	96.11	90.14	91.23	93.23	99.16	95.88	105.36
Peso de muestra seca + tarro (g)	87.00	87.59	81.22	84.25	85.08	75.39	92.54	89.55	81.47
Peso del agua (g)	6.37	6.37	14.89	5.89	6.15	17.84	6.62	6.33	23.89
Peso del tarro (g)	18.70	20.40	21.13	20.14	20.16	20.40	19.20	21.13	20.14
Peso de la muestra seca (g)	68.30	67.19	60.09	64.11	64.92	54.99	73.34	68.42	61.33
Contenido de humedad %	9.33%	9.48%	24.78%	9.19%	9.47%	32.44%	9.03%	9.25%	38.95%
Contenido de humedad promedio, %	9.40%		24.78%	9.33%		32.44%	9.14%		38.95%
Peso Unit. Seco Kgs/m³	2.088		2.105	1.864		1.912	1.678		1.709

### Datos del Esponjamiento (Hinchamiento)

Día del mes	Hora del día	Interv. De tiempo en días	Molde N° SL 11			Molde N° B 6			Molde N° G 6		
			Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento		Lectura del Indicador	Esponjamiento	
				Pulg.	%		Pulg.	%		Pulg.	%
2018-05-26	14h00	1	1	0.001	0.021993	1	0.001	0.022	2	0.002	0.044
2018-05-27	14h00	2	2	0.002	0.043985	3	0.003	0.066	4	0.004	0.088
2018-05-28	14h00	3	2	0.002	0.043985	4	0.004	0.088	4	0.004	0.088
2018-05-29	14h00	4	2	0.002	0.043985	4	0.004	0.088	4	0.004	0.088
2018-05-30	14h00	5	2	0.002	0.043985	4	0.004	0.088	4	0.004	0.088

### Datos del CBR

Penetración Pulgada	Carga Standard Lb pulg²	Molde N° SL 11		Molde N° B 6		Molde N° G 6	
		Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.	Carga del Ensayo	CBR Corr.
0.000		0	0	0	0	0	0
0.025		342	352	234	241	109	112
0.050		523	539	331	341	177	182
0.075		867	893	645	664	323	333
0.100	1000	1094	1127	811	835	526	542
0.150		1223	1260	783	806	611	629
0.200		1347	1387	992	1022	694	715
0.250		1369	1410	1024	1055	733	755
0.300		1423	1466	1082	1114	765	788
0.400		1456	1500	1123	1157	772	795
0.500		1488	1533	1145	1179	791	815
0.600		1512	1557	1159	1194	809	833

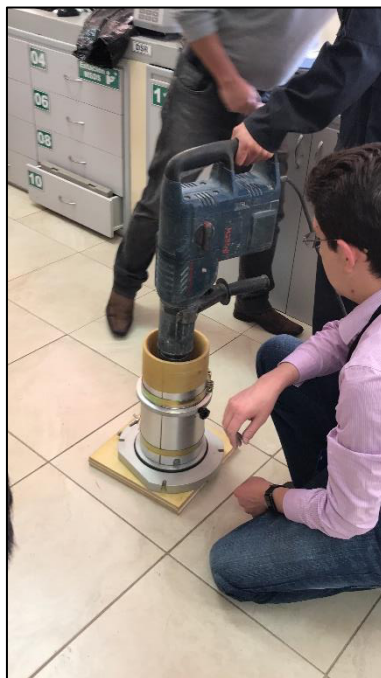


**Anexo 5. Fotos de la realización de los ensayos de Módulo Resiliente**

Fotografía 12. Maquina  
Triaxial



Fotografía 13. Compactación



Fotografía 14. Martillo  
Compactador



Fotografía 15. Colocación  
de membrana



***Anexo 6. Informes de Laboratorio de Módulo Resiliente***

<b>ENSAYO:</b>	MÓDULO RESILIENTE EN BASES GRANULARES Y SUBBASES GRANULARES		
<b>MÉTODO:</b>	MÁQUINA TRIAXIAL (DINÁMICO)		
<b>NORMA APLICADA:</b>	AASHTO T 307 - 99 (2012)		
<b>PROCEDENCIA:</b>	SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS		
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	SUB-BASE 1		
<b>ELABORADO POR:</b>	ING. ROLANDO VILA ROMANÍ		
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - FELIPE PARRA		<b>FECHA:</b> 08/AGO/2018

DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS			
DIMENSIÓN	CL - 1	CL - 2	CL - 3
ALTURA (mm)	310,5	310,34	310,24
DIÁMETRO (mm)	153,5	153	153

ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO												
Secuencia	$\sigma$ conf. (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)			$\epsilon_r \times 10^{-6}$			MR (MPa)	
					CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-3
0	103,4	101,3	10,10	91,20	0,1094	0,1105	0,1013	352,2	356,2	326,5	258,94	279,33
1	20,7	19,2	1,90	17,30	0,0356	0,0449	0,0476	114,5	144,69	153,3	151,10	112,20
2	20,7	39,7	4,30	35,40	0,0793	0,0857	0,0898	255,4	276,3	289,5	138,61	121,93
3	20,7	60,4	6,10	54,30	0,0979	0,1134	0,1102	315,3	365,4	355,3	172,22	152,55
4	34,5	33,3	3,40	29,90	0,0545	0,0622	0,0704	175,6	200,3	226,8	170,27	131,83
5	34,5	67,1	7,00	60,10	0,1069	0,1178	0,1202	344,2	379,6	387,4	174,61	155,14
6	34,5	101,7	10,70	91,00	0,1512	0,1627	0,1586	486,9	524,3	511,2	186,90	178,01
7	68,9	67,5	6,70	60,80	0,0941	0,1000	0,0950	303,2	322,1	306,1	200,53	198,63
8	68,9	136,2	13,10	123,10	0,1766	0,1856	0,1793	568,7	598,1	577,8	216,46	212,88
9	68,9	205	20,70	184,30	0,2245	0,2587	0,2607	723,1	833,6	840,3	254,87	219,33
10	103,4	68,1	7,30	60,80	0,0890	0,0945	0,0985	286,6	304,6	317,6	212,14	191,12
11	103,4	102,8	10,60	92,20	0,1345	0,1370	0,1322	433,2	441,3	426,1	212,83	215,91
12	103,4	240,9	19,90	221,00	0,2881	0,2562	0,2586	928	825,5	833,6	238,15	265,12
13	137,9	101,8	11,10	90,70	0,1176	0,1245	0,1350	378,9	401,3	435,2	239,38	207,72
14	137,9	136,6	14,60	122,00	0,1497	0,1595	0,1644	482,1	514,1	529,8	253,06	229,90
15	137,9	276,5	28,30	248,20	0,2767	0,2698	0,2654	891,2	869,3	855,6	278,50	290,09

<b>ENSAYO:</b>	MÓDULO RESILIENTE EN BASES GRANULARES Y SUBBASES GRANULARES
<b>MÉTODO:</b>	MÁQUINA TRIAXIAL (DINÁMICO)
<b>NORMA APLICADA:</b>	AASHTO T 307 - 99 (2012)
<b>PROCEDENCIA:</b>	SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	SUB-BASE 2
<b>ELABORADO POR:</b>	ING. ROLANDO VILA ROMANÍ
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - FELIPE PARRA
	<b>FECHA:</b> 14/AGO/2018

DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS			
DIMENSIÓN	CL - 1	CL - 2	CL - 3
ALTURA (mm)	310,41	309,64	309,42
DIÁMETRO (mm)	153,5	153	153,5

ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO												
Secuencia	$\sigma$ conf. (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_3$ (kPa)	$\sigma_d$ (kPa)	$\delta_r$ (mm)			$\epsilon_r \times 10^{-6}$			MR (MPa)	
					CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2
0	103,4	101,3	10,10	91,20	0,1289	0,1222	0,1272	415,2	394,6	411,2	219,65	231,12
1	20,7	19,2	1,90	17,30	0,0479	0,0553	0,0570	154,3	178,5	184,3	112,12	96,92
2	20,7	39,7	4,30	35,40	0,1043	0,1067	0,1128	336,1	344,6	364,5	105,33	102,73
3	20,7	60,4	6,10	54,30	0,1642	0,1668	0,1681	528,9	538,7	543,2	102,67	100,80
4	34,5	33,3	3,40	29,90	0,0882	0,0924	0,0977	284,3	298,3	315,9	105,17	100,23
5	34,5	67,1	7,00	60,10	0,1586	0,1623	0,1685	510,8	524,3	544,7	117,66	114,63
6	34,5	101,7	10,70	91,00	0,2159	0,2035	0,2129	695,4	657,2	688,1	130,86	138,47
7	68,9	67,5	6,70	60,80	0,1320	0,1379	0,1483	425,1	445,2	479,3	143,03	136,57
8	68,9	136,2	13,10	123,10	0,2343	0,2444	0,2474	754,9	789,3	799,4	163,07	155,96
9	68,9	205	20,70	184,30	0,2962	0,3060	0,3017	954,3	988,1	975,1	193,13	186,52
10	103,4	68,1	7,30	60,80	0,1163	0,1196	0,1202	374,7	386,2	388,6	162,26	157,43
11	103,4	102,8	10,60	92,20	0,1680	0,1779	0,1852	541,2	574,6	598,6	170,36	160,46
12	103,4	240,9	19,90	221,00	0,3058	0,3038	0,2952	985,3	981,3	954,2	224,30	225,21
13	137,9	101,8	11,10	90,70	0,1519	0,1415	0,1512	489,2	456,9	488,5	185,40	198,51
14	137,9	136,6	14,60	122,00	0,1627	0,1718	0,1777	524,3	554,8	574,3	232,69	219,90
15	137,9	276,5	28,30	248,20	0,2842	0,2834	0,2708	915,5	915,2	875,3	271,11	271,20

<b>ENSAYO:</b>	MÓDULO RESILIENTE EN BASES GRANULARES Y SUBBASES GRANULARES		
<b>MÉTODO:</b>	MÁQUINA TRIAXIAL (DINÁMICO)		
<b>NORMA APLICADA:</b>	AASHTO T 307 - 99 (2012)		
<b>PROCEDENCIA:</b>	SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS		
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	SUB-BASE 3		
<b>ELABORADO POR:</b>	ING. ROLANDO VILA ROMANÍ		
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - FELIPE PARRA		<b>FECHA:</b> 17/AGO/2018

DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS			
DIMENSIÓN	CL - 1	CL - 2	CL - 3
ALTURA (mm)	309,56	310,34	310,27
DIÁMETRO (mm)	153,5	153	153,5

ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO												
Secuencia	$\sigma$ conf. (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_3$ (kPa)	$\sigma_d$ (kPa)	$\delta_r$ (mm)			$\epsilon_r \times 10^{-6}$			MR (MPa)	
					CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2
0	103,4	101,3	10,10	91,20	0,1141	0,1203	0,1330	368,7	387,6	428,7	247,36	235,29
1	20,7	19,2	1,90	17,30	0,0412	0,0327	0,0303	133,2	105,3	97,6	129,88	164,29
2	20,7	39,7	4,30	35,40	0,0975	0,0914	0,0793	315,1	294,5	255,6	112,35	120,20
3	20,7	60,4	6,10	54,30	0,1508	0,1345	0,1256	487,3	433,5	404,7	111,43	125,26
4	34,5	33,3	3,40	29,90	0,0729	0,0697	0,0607	235,6	224,6	195,6	126,91	133,13
5	34,5	67,1	7,00	60,10	0,1477	0,1371	0,1322	477,2	441,9	426,1	125,94	136,00
6	34,5	101,7	10,70	91,00	0,1936	0,1897	0,1823	625,3	611,3	587,6	145,53	148,86
7	68,9	67,5	6,70	60,80	0,1231	0,1110	0,0966	397,5	357,8	311,2	152,96	169,93
8	68,9	136,2	13,10	123,10	0,2203	0,2126	0,2001	711,6	685,1	644,8	172,99	179,68
9	68,9	205	20,70	184,30	0,2793	0,2752	0,2610	902,4	886,9	841,3	204,23	207,80
10	103,4	68,1	7,30	60,80	0,1005	0,0944	0,0861	324,8	304,2	277,6	187,19	199,87
11	103,4	102,8	10,60	92,20	0,1503	0,1389	0,1294	485,6	447,6	417,2	189,87	205,99
12	103,4	240,9	19,90	221,00	0,2834	0,3247	0,2780	915,6	1046,2	896,1	241,37	211,24
13	137,9	101,8	11,10	90,70	0,1342	0,1226	0,1192	433,4	395,2	384,2	209,28	229,50
14	137,9	136,6	14,60	122,00	0,1505	0,1590	0,1421	486,2	512,3	457,9	250,93	238,14
15	137,9	276,5	28,30	248,20	0,2891	0,3090	0,3464	933,8	995,8	1116,3	265,80	249,25



<b>ENSAYO:</b>	MÓDULO RESILIENTE EN BASES GRANULARES Y SUBBASES GRANULARES
<b>MÉTODO:</b>	MÁQUINA TRIAXIAL (DINÁMICO)
<b>NORMA APLICADA:</b>	AASHTO T 307 - 99 (2012)
<b>PROCEDENCIA:</b>	SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	BASE 1A
<b>ELABORADO POR:</b>	ING. ROLANDO VILA ROMANÍ
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - FELIPE PARRA
	FECHA: 22/AGO/2018

DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS			
DIMENSIÓN	CL - 1	CL - 2	CL - 3
ALTURA (mm)	310,33	310,22	309,76
DIÁMETRO (mm)	153	153,5	153,5

ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO												
Secuencia	$\sigma$ conf. (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_3$ (kPa)	$\sigma_d$ (kPa)	$\delta_r$ (mm)			$\epsilon_r \times 10^{-6}$			MR (MPa)	
					CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2
0	103,4	101,3	10,10	91,20	0,1228	0,1089	0,1141	395,6	351,2	368,2	230,54	259,68
1	20,7	19,2	1,90	17,30	0,0451	0,0377	0,0487	145,2	121,5	157,2	119,15	142,39
2	20,7	39,7	4,30	35,40	0,0979	0,0913	0,1033	315,4	294,2	333,4	112,24	120,33
3	20,7	60,4	6,10	54,30	0,1309	0,1165	0,1235	421,8	375,6	398,7	128,73	144,57
4	34,5	33,3	3,40	29,90	0,0882	0,0702	0,0812	284,3	226,3	262,1	105,17	132,13
5	34,5	67,1	7,00	60,10	0,1006	0,0966	0,1066	324,1	311,5	344,2	185,44	192,94
6	34,5	101,7	10,70	91,00	0,1949	0,1896	0,2010	628,1	611,3	648,9	144,88	148,86
7	68,9	67,5	6,70	60,80	0,1176	0,1090	0,1169	379,1	351,4	377,3	160,38	173,02
8	68,9	136,2	13,10	123,10	0,2251	0,2153	0,2245	725,3	694,1	724,6	169,72	177,35
9	68,9	205	20,70	184,30	0,2623	0,2530	0,2575	845,3	815,6	831,3	218,03	225,97
10	103,4	68,1	7,30	60,80	0,0913	0,0888	0,0902	294,2	286,3	291,2	206,66	212,36
11	103,4	102,8	10,60	92,20	0,1308	0,1068	0,1159	421,5	344,2	374,3	218,74	267,87
12	103,4	240,9	19,90	221,00	0,3110	0,2513	0,2605	1002,3	810,2	841,1	220,49	272,77
13	137,9	101,8	11,10	90,70	0,1099	0,0969	0,0961	354,2	312,2	310,2	256,07	290,52
14	137,9	136,6	14,60	122,00	0,1404	0,1161	0,1277	452,3	374,2	412,1	269,73	326,03
15	137,9	276,5	28,30	248,20	0,2434	0,2470	0,2436	784,4	796,3	786,5	316,42	311,69

<b>ENSAYO:</b>	MÓDULO RESILIENTE EN BASES GRANULARES Y SUBBASES GRANULARES		
<b>MÉTODO:</b>	MÁQUINA TRIAXIAL (DINÁMICO)		
<b>NORMA APLICADA:</b>	AASHTO T 307 - 99 (2012)		
<b>PROCEDENCIA:</b>	SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS		
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	BASE 2		
<b>ELABORADO POR:</b>	ING. ROLANDO VILA ROMANÍ		
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - FELIPE PARRA		<b>FECHA:</b> 24/AGO/2018

DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS			
DIMENSIÓN	CL - 1	CL - 2	CL - 3
ALTURA (mm)	309,68	310,27	309,81
DIÁMETRO (mm)	153,5	153	153,5

ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO												
Secuencia	$\sigma$ conf. (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\sigma_3$ (kPa)	$\sigma_d$ (kPa)	$\delta_r$ (mm)			$\epsilon_r \times 10^{-6}$			MR (MPa)	
					CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-3
0	103,4	101,3	10,10	91,20	0,1286	0,0997	0,1061	415,2	321,2	342,5	219,65	266,28
1	20,7	19,2	1,90	17,30	0,0484	0,0383	0,0421	156,3	123,3	135,9	110,68	127,30
2	20,7	39,7	4,30	35,40	0,1004	0,0966	0,1070	324,2	311,2	345,3	109,19	102,52
3	20,7	60,4	6,10	54,30	0,1397	0,1346	0,1429	451,2	433,8	461,2	120,35	117,74
4	34,5	33,3	3,40	29,90	0,0918	0,0811	0,0882	296,3	261,4	284,6	100,91	105,06
5	34,5	67,1	7,00	60,10	0,1067	0,0999	0,1135	344,5	321,9	366,2	174,46	164,12
6	34,5	101,7	10,70	91,00	0,2010	0,1977	0,2021	648,9	637,2	652,2	140,24	139,53
7	68,9	67,5	6,70	60,80	0,1221	0,1143	0,1200	394,2	368,3	387,4	154,24	156,94
8	68,9	136,2	13,10	123,10	0,2322	0,2240	0,2371	749,7	722,1	765,3	164,20	160,85
9	68,9	205	20,70	184,30	0,2673	0,2595	0,2615	863,1	836,3	844,2	213,53	218,31
10	103,4	68,1	7,30	60,80	0,0988	0,0966	0,1059	319,2	311,2	341,8	190,48	177,88
11	103,4	102,8	10,60	92,20	0,1413	0,1310	0,1352	456,3	422,1	436,5	202,06	211,23
12	103,4	240,9	19,90	221,00	0,3135	0,2967	0,3031	1012,3	956,3	978,5	218,31	225,86
13	137,9	101,8	11,10	90,70	0,1234	0,1093	0,1135	398,5	352,2	366,5	227,60	247,48
14	137,9	136,6	14,60	122,00	0,1506	0,1276	0,1329	486,2	411,2	428,9	250,93	284,45
15	137,9	276,5	28,30	248,20	0,2510	0,2527	0,2495	810,6	814,3	805,3	306,19	308,21

<b>ENSAYO:</b>	MÓDULO RESILIENTE EN BASES GRANULARES Y SUBBASES GRANULARES
<b>MÉTODO:</b>	MÁQUINA TRIAXIAL (DINÁMICO)
<b>NORMA APLICADA:</b>	AASHTO T 307 - 99 (2012)
<b>PROCEDENCIA:</b>	SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	BASE 3
<b>ELABORADO POR:</b>	ING. ROLANDO VILA ROMANÍ
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - FELIPE PARRA
	FECHA: 29/AGO/2018

DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS			
DIMENSIÓN	CL - 1	CL - 2	CL - 3
ALTURA (mm)	309,72	310,15	309,94
DIÁMETRO (mm)	153,5	153	153,5

ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO												
Secuencia	$\sigma$ conf. (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)			$\epsilon_r \times 10^{-6}$			MR (MPa)	
					CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2
0	103,4	101,3	10,10	91,20	0,1370	0,1415	0,1340	442,3	456,2	432,2	206,19	199,91
1	20,7	19,2	1,90	17,30	0,0553	0,0587	0,0541	178,6	189,3	174,6	96,86	91,39
2	20,7	39,7	4,30	35,40	0,1057	0,1109	0,1062	341,3	357,6	342,8	103,72	98,99
3	20,7	60,4	6,10	54,30	0,1339	0,1415	0,1309	432,2	456,2	422,5	125,64	119,03
4	34,5	33,3	3,40	29,90	0,0863	0,0899	0,0856	278,6	289,9	276,1	107,32	103,14
5	34,5	67,1	7,00	60,10	0,1005	0,1072	0,1030	324,5	345,6	332,4	185,21	173,90
6	34,5	101,7	10,70	91,00	0,1955	0,2023	0,1963	631,2	652,2	633,5	144,17	139,53
7	68,9	67,5	6,70	60,80	0,1159	0,1198	0,1089	374,2	386,4	351,2	162,48	157,35
8	68,9	136,2	13,10	123,10	0,2216	0,2280	0,2207	715,6	735,2	712,2	172,02	167,44
9	68,9	205	20,70	184,30	0,2554	0,2594	0,2515	824,5	836,5	811,6	223,53	220,32
10	103,4	68,1	7,30	60,80	0,0946	0,1006	0,0938	305,3	324,2	302,5	199,15	187,54
11	103,4	102,8	10,60	92,20	0,1340	0,1390	0,1308	432,6	448,2	421,9	213,13	205,71
12	103,4	240,9	19,90	221,00	0,3053	0,3080	0,3021	985,6	993,2	974,6	224,23	222,51
13	137,9	101,8	11,10	90,70	0,1005	0,1041	0,1042	324,6	335,6	336,2	279,42	270,26
14	137,9	136,6	14,60	122,00	0,1305	0,1371	0,1306	421,3	442,1	421,3	289,58	275,96
15	137,9	276,5	28,30	248,20	0,2559	0,2533	0,2541	826,3	816,6	819,8	300,38	303,94

<b>ENSAYO:</b>	MÓDULO RESILIENTE EN BASES GRANULARES Y SUBBASES GRANULARES
<b>MÉTODO:</b>	MÁQUINA TRIAXIAL (DINÁMICO)
<b>NORMA APLICADA:</b>	AASHTO T 307 - 99 (2012)
<b>PROCEDENCIA:</b>	SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	BASE 4
<b>ELABORADO POR:</b>	ING. ROLANDO VILA ROMANÍ
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - FELIPE PARRA
	<b>FECHA:</b> 04/SEP/2018

DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS			
DIMENSIÓN	CL - 1	CL - 2	CL - 3
ALTURA (mm)	309,31	310,17	309,68
DIÁMETRO (mm)	153	153,5	153,5

ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO												
Secuencia	$\sigma$ conf. (kPA)	$\sigma_1$ (kPA)	$\sigma_3$ (kPA)	$\sigma_d$ (kPA)	$\delta_r$ (mm)			$\epsilon_r \times 10^{-6}$			MR (MPa)	
					CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-2	CL-3	CL-1	CL-3
0	103,4	101,3	10,10	91,20	0,1513	0,1527	0,1462	489,2	492,3	472,1	186,43	193,18
1	20,7	19,2	1,90	17,30	0,0650	0,0707	0,0652	210,2	227,8	210,6	82,30	82,15
2	20,7	39,7	4,30	35,40	0,1197	0,1227	0,1160	386,9	395,6	374,6	91,50	94,50
3	20,7	60,4	6,10	54,30	0,1479	0,1546	0,1461	478,2	498,3	471,9	113,55	115,07
4	34,5	33,3	3,40	29,90	0,0932	0,1009	0,0964	301,2	325,4	311,2	99,27	96,08
5	34,5	67,1	7,00	60,10	0,1102	0,1161	0,1092	356,3	374,3	352,6	168,68	170,45
6	34,5	101,7	10,70	91,00	0,2116	0,2166	0,2049	684,1	698,4	661,7	133,02	137,52
7	68,9	67,5	6,70	60,80	0,1247	0,1322	0,1280	403,2	426,1	413,2	150,79	147,14
8	68,9	136,2	13,10	123,10	0,2339	0,2401	0,2327	756,2	774,2	751,4	162,79	163,83
9	68,9	205	20,70	184,30	0,2648	0,2711	0,2619	856,2	874,1	845,6	215,25	217,95
10	103,4	68,1	7,30	60,80	0,1109	0,1153	0,1092	358,4	371,6	352,7	169,64	172,38
11	103,4	102,8	10,60	92,20	0,1471	0,1494	0,1454	475,6	481,6	469,6	193,86	196,34
12	103,4	240,9	19,90	221,00	0,3122	0,3182	0,3098	1009,2	1025,8	1000,5	218,99	220,89
13	137,9	101,8	11,10	90,70	0,1107	0,1165	0,1113	357,8	375,6	359,5	253,49	252,29
14	137,9	136,6	14,60	122,00	0,1419	0,1468	0,1411	458,9	473,2	455,7	265,85	267,72
15	137,9	276,5	28,30	248,20	0,2584	0,2623	0,2569	835,3	845,6	829,5	297,14	299,22